TOPH

STEPHEN W. HAWKING s-a născut în 1942, exact în ziua cînd se împlineau trei sute de ani de la moartea lui Galileo Galilei. Este titularul catedrei de matematică Isaac Newton la Cambridge University și mulți îl consideră a fi unul dintre cei mai străluciți fizicieni teoreticieni de la Einstein încoace.

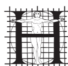
STEPHEN W. HAWKING

SCURTĂ ISTORIE A TIMPULUI

De la Big Bang la găurile negre

Ediția a III-a

Traducere din engleză
MICHAELA CIODARU



HUMANITAS
BUCUREȘTI

Coperta colecției

DONE STAN

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale
HAWKING, STEPHEN
Scurtă istorie a timpului: de la Bing Bang la găurile negre / Stephen W. Hawking; trad.: Michaela Ciodaru, Ed. a 3-a, rev. – București: Humanitas, 2001
216 p.; 18 cm
Tit. orig. (eng) A Brief History of Time
ISBN 973-50-0164-0

I. Ciodaru, Michaela (trad.)

524.8

STEPHEN W. HAWKING
A BRIEF HISTORY OF TIME
From the Big Bang to Black Holes

ISBN 973-50-0164-0

Mulțumiri

Am hotărît să încerc să scriu o carte de popularizare despre spațiu și timp după ce am ținut cursurile Loeb la Harvard, în 1982. Exista deja un număr considerabil de cărți privind începuturile universului și găurile negre, variind de la foarte bune, cum ar fi cartea lui Steven Weinberg *Primele trei minute*, pînă la foarte proaste, pe care nu le voi numi. Totuși, am simțit că nici una dintre ele nu răspunde întrebărilor care m-au condus la efectuarea cercetărilor în cosmologie și teoria cuantică: De unde vine universul? Cum și cînd a început? Va ajunge la un sfîrșit, și dacă da, cum? Acestea sînt întrebări care ne interesează pe toți. Știința modernă a devenit însă atît de tehnică încît numai un număr foarte mic de specialiști sînt capabili să stăpînească matematica utilizată pentru descrierea lor. Totuși, ideile de bază privind originea și soarta universului pot fi enunțate fără utilizarea matematicii, într-o formă pe care o pot înțelege oamenii care nu au educație științifică. Este ceea ce am încercat să fac în această carte. Cititorul trebuie să judece dacă am reușit.

Cineva mi-a spus că fiecare ecuație pe care o includ în carte va înjumătăți vînzările. Prin urmare, am hotărît să nu existe ecuații. Totuși, în cele din urmă, *am introdus* o ecuație, faimoasa ecuație a lui Einstein, $E = mc^2$. Sper ca aceasta să nu sperie jumătate din cititorii mei potențiali.

În afară de faptul că am fost destul de ghinionist să am ALS, sau boala neuro-motorie, am avut noroc în aproape toate celelalte privințe. Ajutorul și sprijinul

pe care le-am primit de la soția mea Jane și de la copiii mei Robert, Lucy și Timmy au făcut posibil să duc o viață cît se poate de normală și să am o carieră reușită. Am mai fost norocos pentru că am ales fizica teoretică, deoarece aceasta este toată numai gîndire. Astfel că invaliditatea mea nu a reprezentat un handicap serios. Colegii mei din domeniul științei mi-au fost, fără excepție, de cel mai mare ajutor.

În prima fază „clasică" a carierei mele, asociații și colaboratorii mei principali au fost Roger Penrose, Robert Geroch, Brandon Carter și George Ellis. Le sînt recunoscător pentru ajutorul pe care mi l-au dat și pentru lucrările pe care le-am realizat împreună. Această fază a fost rezumată în cartea *The Large Scale Structure of Spacetime* pe care Ellis și cu mine am scris-o în 1973. Nu sfătuiesc cititorii prezentei cărți să consulte acea lucrare pentru informații suplimentare: este foarte tehnică și aproape de necitit. Sper că de atunci am învățat cum să scriu într-un mod mai ușor de înțeles.

În a doua fază „cuantică" a activității mele, din 1974, colaboratorii mei principali au fost Gary Gibbons, Don Page și Jim Hartle. Le datorez foarte mult lor și studenților mei din cercetare, care mi-au fost de mare ajutor atît în sens concret, cît și din punct de vedere moral. Faptul că a trebuit să țin pasul cu studenții mei a reprezentat un mare stimulent și m-a împiedicat, sper, să mă înțepenesc în rutină.

Pentru această carte am avut un mare ajutor de la Brian Whitt, unul din studenții mei. În 1985, după ce am schițat primul proiect al cărții, am făcut pneumonie. A trebuit să fac o operație de traheotomie datorită căreia nu am mai putut să vorbesc și care m-a făcut să-mi fie aproape imposibil să comunic. Am crezut că nu voi putea să termin cartea. Totuși, Brian nu numai că m-a ajutat să o revizuiesc, dar m-a făcut să utilizez un program de comunicare numit Living Center care mi-a fost donat de Walt Woltosz de la Words Plus Inc., din Sunnyvale, California. Cu acesta am putut să scriu

cărți și lucrări și să vorbesc cu oamenii utilizînd un sintetizator de vorbire donat de Speech Plus, tot din Sunnyvale, California. Sintetizatorul și un mic computer personal au fost montate pe scaunul meu cu rotile de David Mason. Acest sistem a schimbat totul: de fapt, pot să comunic acum mai bine decît înainte de a-mi pierde vocea.

Am primit sugestii privind modul de îmbunătățire a cărții de la un mare număr de persoane care au văzut versiunile preliminare. În special Peter Guzzardi, editorul meu de la Bantam Books, mi-a trimis pagini întregi de comentarii și întrebări despre punctele pe care credea că nu le-am explicat cum trebuie. Trebuie să admit că am fost destul de iritat cînd am primit lista lungă cu lucrurile care trebuiau modificate, dar a avut dreptate. Sînt sigur că această carte este mai bună ca urmare a faptului că m-a pus la treabă.

Sînt foarte recunoscător asistenților mei, Colin Williams, David Thomas și Raymond Laflamme; secretarelor mele Judy Fella, Ann Ralph, Cheryl Billlington și Sue Masey; și echipei mele de asistente medicale. Nimic din acestea nu ar fi fost posibil fără suportul acordat pentru cheltuielile mele de cercetare și medicale de Gonville and Caius College, Science and Engineering Research Council (Consiliul de Cercetare Științifică și Tehnică) și Fundațiile Leverhulme, McArthur, Nuffield și Ralph Smith. Le sînt foarte recunoscător.

STEPHEN HAWKING
20 octombrie 1987

Introducere

Ne vedem de viața noastră zilnică neînțelegînd aproape nimic despre lume. Ne gîndim prea puțin la mecanismul care generează lumina soarelui ce face posibilă viața, la gravitația ce ne ține pe un Pămînt care altfel ne-ar trimite învîrtindu-ne în spațiu, sau la atomii din care sîntem făcuți și de a căror stabilitate depindem fundamental. Cu excepția copiilor (care nu știu destul pentru a nu pune întrebări importante) puțini dintre noi își petrec mult timp întrebîndu-se de ce natura este așa cum este: de unde vine cosmosul sau dacă a fost întotdeauna acolo; dacă într-o zi timpul va curge înapoi și efectul va preceda cauza; sau dacă există limite ultime pentru ceea ce poate cunoaște omul. Există chiar copii, și eu am întîlnit pe unii dintre ei, care vor să știe cum arată o gaură neagră; care este cea mai mică particulă de materie; de ce ne amintim trecutul și nu viitorul; cum se face, dacă la început a fost haos, că acum există, aparent, ordine; și de ce există un univers.

În societatea noastră încă se mai obișnuiește ca părinții și profesorii să răspundă la majoritatea acestor întrebări cu o ridicare din umeri, sau făcînd apel la precepte religioase amintite vag. Unii sînt incomodați de asemenea subiecte, deoarece ele expun atît de viu limitele înțelegerii umane.

Dar multe din rezultatele filozofiei și științei au fost obținute datorită unor astfel de întrebări. Un număr din ce în ce mai mare de adulți doresc să pună între-

bări de acest fel și uneori obțin niște răspunsuri surprinzătoare. La distanță egală față de atomi și stele, noi ne extindem orizonturile de cercetare pentru a le cuprinde pe amîndouă: infinitul mic și infinitul mare.

În primăvara lui 1974, cu circa doi ani înainte ca nava spațială Viking să coboare pe Marte, am fost în Anglia, la o întrunire sponsorizată de Societatea Regală din Londra, privind problema modalităților de căutare a vieții extraterestre. Într-o pauză am observat că o întrunire mult mai mare avea loc într-o sală alăturată, în care am intrat din curiozitate. Curînd mi-am dat seama că asistam la un vechi ritual: investitura de noi membri ai Societății Regale, una dintre cele mai vechi organizații științifice ale planetei. În rîndul întîi, un tînăr într-un scaun cu rotile își semna, foarte încet, numele într-o carte care purta pe primele pagini semnătura lui Isaac Newton. Cînd în sfîrșit a terminat, au izbucnit ovații emoționante. Încă de atunci Stephen Hawking era o legendă.

Hawking este acum profesor de matematică la Universitatea Cambridge, un post deținut odată de Newton și apoi de P.A.M. Dirac, doi cercetători celebri ai infinitului mare și infinitului mic. El este vrednicul lor succesor. Această primă carte pentru nespecialiști a lui Hawking cuprinde recompense de multe feluri pentru cititorul nespecializat. Tot așa de interesantă ca și conținutul variat al cărții este imaginea pe care o dă asupra funcționării gîndirii autorului. În această carte există revelații lucide asupra frontierelor fizicii, astronomiei, cosmologiei și curajului.

Aceasta este, de asemenea, o carte despre Dumnezeu… sau, poate, despre absența lui Dumnezeu. Cuvîntul Dumnezeu umple aceste pagini. Hawking pornește în căutarea răspunsului la faimoasa întrebare a lui Einstein dacă Dumnezeu a avut de ales în crearea uni-

versului. Hawking încearcă, așa cum afirmă explicit, să înțeleagă gîndirea lui Dumnezeu. Și aceasta face cu atît mai neașteptat rezultatul efortului, cel puțin pînă acum: un univers fără margini în spațiu, fără început sau sfîrșit în timp, și nimic de făcut pentru Creator.

CARL SAGAN
Universitatea Cornell
Ithaca, New York

1
Imaginea noastră despre univers

Un savant bine cunoscut (unii spun că a fost Bertrand Russell) a ținut odată o conferință publică de astronomie. El a arătat cum pămîntul se învîrtește în jurul soarelui și cum soarele, la rîndul său, se învîrtește în jurul centrului unei colecții vaste de stele numită galaxia noastră. La sfîrșitul conferinței sale, o bătrînică din fundul sălii s-a ridicat și a spus: „Ceea ce ne-ați spus sînt prostii. În realitate, lumea este un disc așezat pe spatele unei broaște țestoase gigantice.“ Savantul a avut un zîmbet de superioritate înainte de a replica: „Și pe ce stă broasca țestoasă?“ „Ești foarte deștept, tinere, foarte deștept,“ a spus bătrîna doamnă. „Dar sînt broaște țestoase pînă jos.“

Majoritatea oamenilor ar găsi ridicolă imaginea universului nostru ca un turn infinit de broaște țestoase, dar de ce credem că noi știm mai bine? Ce știm despre univers, și cum o știm? De unde vine universul și încotro merge? Are universul un început și dacă da, ce s-a întîmplat *înainte* de acesta? Care este natura timpului? Va ajunge el la un sfîrșit? Progrese recente ale fizicii, posibile în parte datorită unor tehnologii fantastice, sugerează răspunsuri la unele dintre aceste întrebări vechi. Poate că într-o zi aceste răspunsuri vor părea tot atît de evidente ca și mișcarea pămîntului în jurul soarelui — sau poate tot așa de ridicole ca un turn de broaște țestoase. Numai timpul (oricare ar fi acesta) ne va spune.

Încă din anul 340 î. Cr., filozoful grec Aristotel, în cartea sa *Despre ceruri*, a putut să ofere două argumente

în sprijinul credinței că pămîntul este o sferă rotundă și nu un disc. În primul rînd, el și-a dat seama că eclipsele de lună erau produse de pămînt, care se afla între soare și lună. Umbra pămîntului pe lună era întotdeauna rotundă, ceea ce ar fi adevărat numai dacă pămîntul ar fi sferic. Dacă pămîntul ar fi fost un disc plat, umbra ar fi fost alungită și eliptică, în afară de cazul în care eclipsa s-ar fi produs întotdeauna în momentul în care soarele era chiar sub centrul discului. În al doilea rînd, grecii știau din călătoriile lor că Steaua Polară apare mai jos pe cer cînd se vede din sud decît cînd se vede din regiunile mai nordice. (Deoarece Steaua Polară se găsește deasupra Polului Nord, ea îi apare unui observator aflat la Polul Nord chiar deasupra, dar pentru cineva care privește de la ecuator ea pare să se afle chiar la orizont.) Aristotel a efectuat chiar, din diferența dintre pozițiile aparente ale Stelei Polare în Egipt și în Grecia, o evaluare a distanței din jurul pămîntului, de 400 000 stadii. Nu se știe exact care era lungimea unei stadii, dar probabil a avut circa 200 iarzi, ceea ce face ca estimarea lui Aristotel să fie de două ori mai mare decît cifra acceptată în mod curent. Grecii aveau chiar și un al treilea argument că pămîntul este rotund, pentru că altfel de ce se văd mai întîi pînzele unei corăbii deasupra orizontului și numai după aceea se vede copastia?

Aristotel credea că pămîntul era fix, iar soarele, luna, planetele și stelele se deplasează pe orbite circulare în jurul lui. El credea astfel deoarece simțea, din motive mistice, că pămîntul era centrul universului și că mișcarea circulară era perfectă. Această idee a fost elaborată de Ptolemeu în secolul al doilea p. Chr. într-un model cosmologic complex. Pămîntul stătea în centru, înconjurat de opt sfere care purtau luna, soarele, stelele și cele cinci planete cunoscute în acel moment: Mercur, Venus, Marte, Jupiter și Saturn (fig. 1.1). La rîndul lor planetele se mișcau pe cercuri mai mici atașate unor

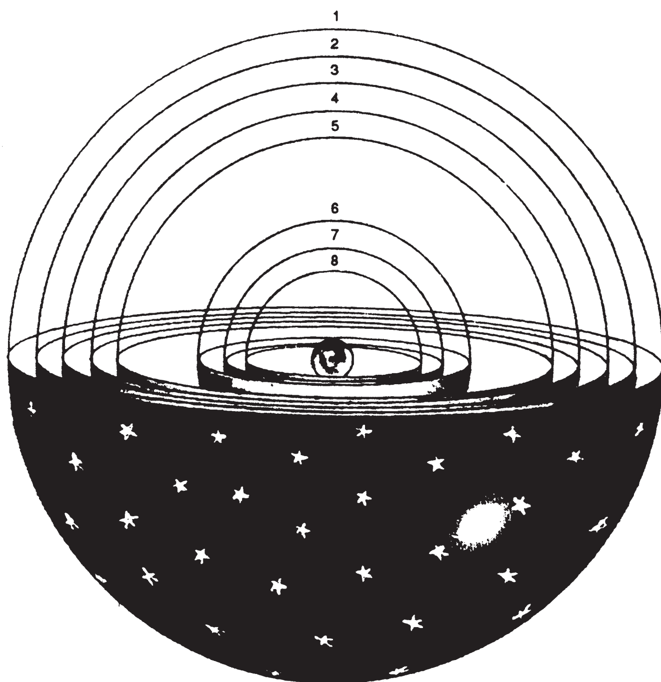


FIGURA 1.1

1. Sfera stelelor fixe 2. Sfera lui Saturn 3. Sfera lui Jupiter
4. Sfera lui Marte 5. Sfera Soarelui 6. Sfera lui Venus
7. Sfera lui Mercur 8. Sfera Lunii

sfere, pentru a explica traiectoriile lor mai complicate pe cer. Sfera exterioară purta așa-numitele stele fixe, care stau întotdeauna în aceleași poziții unele față de celelalte, dar care se rotesc împreună pe cer. Ceea ce se găsea dincolo de ultima sferă nu a fost niciodată foarte clar, dar în mod sigur nu făcea parte din universul observabil al umanității. Modelul lui Ptolemeu dădea un sistem destul de precis pentru precizarea pozițiilor corpurilor cerești pe cer. Dar, pentru a prezice

corect aceste poziții, Ptolemeu a trebuit să facă ipoteza că luna urma o traiectorie care o aducea în unele cazuri la o distanță de două ori mai aproape de pămînt decît în altele. Și aceasta însemna că luna trebuia să fie în unele cazuri de două ori mai mare decît în altele. Ptolemeu a recunoscut acest punct slab dar, cu toate acestea, modelul era acceptat în general, deși nu universal. El a fost recunoscut de Biserica creștină ca o imagine a universului care era în conformitate cu Scriptura, deoarece avea marele avantaj că lăsa, în afara sferei cu stelele fixe, o mulțime de spațiu pentru rai și iad.

Totuși, în 1514 un preot polonez, Nicholas Copernic, a propus un model mai simplu. (La început, poate de frică să nu fie stigmatizat ca eretic de biserica sa, Copernic a pus anonim în circulație modelul său.) Ideea sa era că soarele era staționar în centru și planetele se mișcă pe orbite circulare în jurul soarelui. A trecut aproape un secol înainte ca această idee să fie luată în serios. Atunci, doi astronomi — germanul Johannes Kepler și italianul Galileo Galilei — au început să sprijine public teoria lui Copernic, în ciuda faptului că orbitele pe care le-a prezis nu se potriveau exact cu cele observate. Lovitura de grație i s-a dat teoriei aristoteliano-ptolemeice în 1609. În acel an, Galilei a început să observe cerul nopții cu un telescop, care tocmai fusese inventat. Cînd a privit la planeta Jupiter, Galilei a observat că ea era însoțită de cîțiva sateliți mici, sau luni, care se roteau în jurul ei. Aceasta însemna că nu orice corp trebuia să se învîrtă în jurul pămîntului, așa cum credeau Aristotel și Ptolemeu. (Desigur, era încă posibil să se creadă că pămîntul era fix în centrul universului și că lunile lui Jupiter se mișcau pe traiectorii extrem de complicate în jurul pămîntului, dînd aparența că ele se rotesc în jurul lui Jupiter. Totuși, teoria lui Copernic era mult mai simplă.) În același timp, Johannes Kepler a modificat teoria lui Copernic, su-

gerînd că planetele nu se mişcă pe orbite circulare ci eliptice (o elipsă este un cerc alungit). Acum prezicerile se potriveau în sfîrşit cu observaţiile.

În ceea ce-l priveşte pe Kepler, orbitele eliptice erau doar o ipoteză ad-hoc, şi încă una respingătoare, deoarece elipsele erau mai puţin perfecte decît cercurile. Descoperind aproape accidental că orbitele eliptice se potrivesc bine observaţiilor, el nu a putut să le împace cu ideea sa că planetele erau determinate de forţe magnetice să se mişte în jurul soarelui. O explicaţie a fost dată abia mult mai tîrziu, în 1687, cînd Sir Isaac Newton a publicat cartea sa *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, probabil cea mai importantă lucrare care a fost publicată vreodată în ştiinţele fizice. În aceasta nu numai că Newton a prezentat o teorie privind modul în care se mişcă corpurile în spaţiu şi timp, dar a dezvoltat şi aparatul matematic complicat, necesar pentru analiza acelor mişcări. În plus, Newton a postulat o lege a gravitaţiei universale conform căreia fiecare corp din univers era atras spre oricare alt corp cu o forţă care era cu atît mai mare cu cît corpurile erau mai masive şi cu cît erau mai aproape unele de altele. Era aceeaşi forţă care producea căderea obiectelor spre pămînt. (Povestea că Newton a fost inspirat de un măr care l-a lovit în cap este aproape sigur apocrifă. Tot ceea ce Newton însuşi a spus vreodată a fost că ideea gravitaţiei i-a venit atunci cînd se afla „într-o stare contemplativă" şi „a fost ocazionată de căderea unui măr".) Conform acestei legi, Newton a arătat că forţa gravitaţională determină luna să se mişte pe o orbită eliptică în jurul pămîntului, iar pămîntul şi planetele să urmeze traiectorii eliptice în jurul soarelui.

Modelul lui Copernic a renunţat la sferele celeste ale lui Ptolemeu şi, o dată cu ele, la ideea că universul are limite naturale. Deoarece „stelele fixe" nu par să-şi modifice poziţiile în afară de o rotaţie pe cer cauzată

de rotația pămîntului în jurul axei sale, a părut natural să se presupună că stelele fixe erau obiecte ca și soarele nostru, dar la distanțe foarte mari.

Newton a înțeles că, în conformitate cu teoria sa privind gravitația, stelele trebuie să se atragă unele pe altele, astfel încît părea că ele nu pot rămîne nemișcate. Nu ar trebui să cadă toate într-un punct? Într-o scrisoare din 1691 către Richard Bentley, un alt gînditor de primă mărime din vremea sa, Newton argumenta că aceasta s-ar întîmpla într-adevăr dacă ar exista numai un număr finit de stele distribuite pe o regiune finită a spațiului. Dar el a gîndit că dacă, pe de altă parte, ar exista un număr infinit de stele, distribuite mai mult sau mai puțin uniform în spațiul infinit, acest lucru nu s-ar întîmpla, deoarece nu ar exista un punct central către care acestea să cadă.

Acest argument este o ilustrare a capcanelor pe care le puteți întîlni cînd vorbiți despre infinit. Într-un univers infinit, fiecare punct poate fi privit ca un centru, deoarece fiecare punct are un număr infinit de stele de fiecare parte a sa. Abordarea corectă, care s-a realizat mult mai tîrziu, este de a considera situația finită în care stelele cad fiecare una pe alta, și apoi de a întreba cum se modifică lucrurile dacă se adaugă mai multe stele distribuite aproape uniform în afara acestei regiuni. Conform legii lui Newton, stelele în plus nu vor produce, în medie, modificări celor inițiale, astfel că stelele vor cădea tot atît de repede. Putem adăuga cît de multe stele dorim, dar ele se vor prăbuși întotdeauna pe ele însele. Știm acum că este imposibil să avem un model static infinit al universului în care gravitația este întotdeauna forță de atracție.

O reflecție interesantă asupra climatului general al gîndirii dinaintea secolului al douăzecilea este că nimeni nu a sugerat că universul era în expansiune sau în contracție. Era general acceptat că universul a existat dintotdeauna într-o stare nemodificată sau că el a fost creat la un anumit moment de timp în trecut, mai

mult sau mai puțin așa cum îl observăm astăzi. Aceasta s-a putut datora în parte tendinței oamenilor de a crede în adevăruri eterne, ca și mîngîierii pe care au găsit-o la gîndul că ei pot îmbătrîni și muri, dar universul este etern și nemodificat.

Chiar aceia care au înțeles că teoria gravitației a lui Newton arăta că universul nu poate fi static nu s-au gîndit să sugereze că el poate fi în expansiune. În loc de aceasta, ei au încercat să modifice teoria considerînd că forța gravitațională este de respingere la distanțe foarte mari. Aceasta nu afecta semnificativ prezicerile lor asupra mișcării planetelor, dar permitea rămînerea în echilibru a unei distribuții infinite a stelelor — forțele de atracție dintre stelele apropiate fiind echilibrate de forțele de respingere de la acelea care erau depărtate. Totuși, acum credem că un astfel de echilibru ar fi instabil: dacă stelele dintr-o regiune ajung doar puțin mai aproape unele de altele, forțele de atracție dintre ele ar deveni mai puternice și ar domina forțele de respingere astfel încît stelele ar continua să cadă una spre cealaltă. Pe de altă parte, dacă stelele ajung doar puțin mai departe una de alta, forțele de respingere ar domina și le-ar îndepărta unele de altele.

O altă obiecție împotriva unui univers static infinit este atribuită în mod normal filozofului german Heinrich Olbers, care a scris despre această teorie în 1823. De fapt, diferiți contemporani ai lui Newton au ridicat problema, și articolul lui Olbers nu a fost nici măcar primul care să conțină argumente plauzibile împotriva sa. El a fost, totuși, larg remarcat. Dificultatea este că, într-un univers static infinit, aproape fiecare linie de vedere s-ar termina pe suprafața unei stele. Astfel, ar fi de așteptat ca întregul cer să fie tot așa de strălucitor ca soarele, chiar și noaptea. Contraargumentul lui Olbers era că lumina stelelor îndepărtate s-ar diminua prin absorbție în materia interstelară. Totuși, dacă aceasta s-ar întîmpla, materia interstelară s-ar încălzi în cele din urmă pînă cînd ar străluci tot

atît cît stelele. Singura cale de a evita concluzia că tot cerul nopții trebuie să fie la fel de strălucitor ca și suprafața soarelui ar fi să se presupună că stelele nu au strălucit întotdeauna, ci au început să strălucească la un moment finit în trecut. În acest caz, materia absorbantă poate nu s-a încălzit încă sau lumina de la stelele îndepărtate poate să nu ne fi ajuns încă. Și aceasta ne pune problema cauzei care ar fi putut determina stelele să înceapă să strălucească prima oară.

Începutul universului a fost discutat, desigur, cu mult înainte de aceasta. Conform unui număr de cosmologii timpurii și tradiției evreiești, creștine, musulmane, universul a început la un moment finit și nu foarte îndepărtat din trecut. Un argument pentru un astfel de început a fost sentimentul că era necesar să existe o „Primă Cauză" pentru a explica existența universului. (În univers, întotdeauna se explică un eveniment ca fiind cauzat de un eveniment anterior, dar existența universului însuși putea fi explicată în acest fel numai dacă el avea un început.) Un alt argument a fost prezentat de Sf. Augustin în cartea *De Civitate Dei*. El a arătat că civilizația progresează și noi ne amintim cine a realizat această faptă sau a dezvoltat acea tehnică. Astfel omul, și poate și universul, poate nu au existat de la început. Sf. Augustin a acceptat, conform Cărții Genezei, data de circa 5000 *a. Chr*. pentru crearea universului. (Este interesant că aceasta nu este prea departe de sfîrșitul ultimei ere glaciare, la circa 10 000 *a. Chr*, care este momentul în care arheologii ne spun că a început în realitate civilizația.)

Pe de altă parte, Aristotel și majoritatea celorlalți filozofi greci nu agreau ideea unei creații deoarece aducea prea mult cu o intervenție divină. Prin urmare, ei credeau că rasa umană și lumea înconjurătoare au existat și vor exista întotdeauna. Anticii analizaseră deja argumentul despre progres descris mai sus și au

răspuns spunînd că au existat inundații sau alte dezastre periodice care au trimis repetat rasa umană înapoi la începutul civilizației.

Întrebările dacă universul avea un început în timp și dacă este limitat în spațiu au fost apoi extensiv examinate de filozoful Immanuel Kant în lucrarea sa monumentală (și foarte obscură) *Critica Rațiunii Pure*, publicată în 1781. El a numit aceste întrebări antinomii (adică, contradicții) ale rațiunii pure deoarece el simțea că existau argumente egale pentru a crede teza, că universul are un început, și antiteza, că el a existat dintotdeauna. Argumentul său în favoarea tezei era că dacă universul nu a avut un început, ar fi existat o perioadă infinită de timp înaintea oricărui eveniment, ceea ce el considera că era absurd. Argumentul pentru antiteză era că dacă universul avea un început, ar fi existat o perioadă infinită de timp înainte de acesta, astfel încît de ce ar începe universul la un anumit moment? De fapt, cazurile sale pentru teză și antiteză reprezintă în realitate același argument. Ambele se bazează pe ipoteza sa, neexprimată, că timpul există dintotdeauna, indiferent dacă universul a existat sau nu dintotdeauna. Așa cum vom vedea, conceptul de timp nu are sens înainte de începutul universului. Acest lucru a fost arătat prima oară de Sf. Augustin. Cînd a fost întrebat: Ce-a făcut Dumnezeu înainte de a crea universul? Augustin nu a replicat: El pregătea iadul pentru oamenii care pun astfel de întrebări. În schimb, el a spus că timpul era o proprietate a universului pe care l-a creat Dumnezeu și că timpul nu a existat înainte de începutul universului.

Cînd majoritatea oamenilor credeau într-un univers esențial static și nemodificabil, întrebarea dacă el are sau nu un început era în realitate o problemă de metafizică sau teologie. Ceea ce se observa se putea explica tot așa de bine pe baza teoriei că universul a existat dintotdeauna sau pe baza teoriei că el a fost pus în mișcare la un moment finit astfel încît să arate

ca și cînd ar exista dintotdeauna. Dar în 1929, Edwin Hubble a făcut observația crucială că oriunde privești, galaxiile aflate la distanță mai mare se îndepărtează rapid de noi. Cu alte cuvinte, universul este în expansiune. Aceasta înseamnă că, la început, obiectele ar fi fost strînse la un loc. De fapt, se pare că a fost un moment, cu circa zece sau douăzeci de mii de milioane de ani înainte, cînd ele se găseau exact în același loc și cînd, deci, densitatea universului era infinită. Această descoperire a adus în final problema începutului universului în domeniul științei.

Observațiile lui Hubble sugerau că a existat un moment numit Big Bang*, cînd universul era infinit de mic și infinit de dens. În aceste condiții, toate legile științei și, prin urmare, toată capacitatea de a preciza viitorul, nu funcționau. Dacă au existat evenimente înaintea acestui moment, atunci ele nu puteau afecta ceea ce se întîmplă în prezent. Existența lor poate fi ignorată deoarece nu ar avea consecințe observabile. Se poate spune că timpul a avut un început la Big Bang, în sensul că timpul dinainte pur și simplu nu ar putea fi definit. Trebuie accentuat că acest început al timpului este foarte diferit de acelea care au fost considerate anterior. Într-un univers care nu se modifică, începutul timpului este ceva care trebuie să fie impus de o ființă din afara universului; nu există necesitate fizică pentru un început. Se poate imagina că Dumnezeu a creat universul pur și simplu în orice moment din trecut. Pe de altă parte, dacă universul este în expansiune, pot exista motive fizice pentru care a trebuit să fie un început. Se mai poate imagina că Dumnezeu a creat universul în momentul Big Bangului sau chiar după aceea, în așa fel încît să arate ca și cînd ar fi existat Big Bang, dar ar fi fără sens să se presupună că el a fost creat înainte de Big Bang. Un univers în expansiune

---

* Marea Explozie (*n.t.*).

nu exclude posibilitatea unui creator, dar introduce limitări asupra momentului cînd el ar fi putut să facă aceasta!

Pentru a vorbi despre natura universului și a discuta probleme cum este cea a existenței unui început sau a unui sfîrșit, trebuie să vă fie clar ce este o teorie științifică. Voi lua în considerare părerea simplă că o teorie este doar un model al universului, sau o parte restrînsă a sa, și un set de reguli care leagă mărimile din model de observațiile pe care le facem. Ea există doar în mințile noastre și nu are altă realitate (oricare ar putea fi). O teorie este bună dacă satisface două cerințe: ea trebuie să descrie precis o clasă largă de observații pe baza unui model care conține numai cîteva elemente arbitrare, și trebuie să facă predicții definite asupra rezultatelor observațiilor viitoare. De exemplu, teoria lui Aristotel că orice lucru era făcut din patru elemente — pămîntul, aerul, focul și apa — era destul de simplă ca descriere, dar nu făcea predicții definite. Pe de altă parte, teoria gravitațională a lui Newton se baza pe un model și mai simplu, în care corpurile se atrăgeau unele pe altele cu o forță care era proporțională cu o mărime numită masa lor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele. Totuși, ea prezice cu un grad înalt de precizie mișcările soarelui, lunii și planetelor.

Orice teorie fizică este întotdeauna temporară, în sensul că este doar o ipoteză: niciodată nu poți s-o dovedești. Indiferent de cît de multe ori rezultatele experimentelor concordă cu o teorie, niciodată nu poți fi sigur că data viitoare rezultatul nu va contrazice teoria. Pe de altă parte, poți să infirmi o teorie găsind doar o singură observație care nu corespunde prezicerilor sale. Așa cum a subliniat filozoful științei Karl Popper, o teorie bună se caracterizează prin faptul că face un număr de predicții care pot fi, în principiu, contrazise sau falsificate de observație. De fiecare dată cînd se observă că noile experimente corespund prezicerilor,

teoria supraviețuiește, iar încrederea noastră în ea crește; dar dacă se găsește vreodată o nouă observație care nu corespunde, trebuie să abandonăm sau să modificăm teoria. Cel puțin așa se presupune că se întîmplă, dar întotdeauna poți să pui la îndoială competența persoanei care a făcut observația.

În practică, adeseori se întîmplă că o nouă teorie apărută este în realitate o extindere a teoriei anterioare. De exemplu, observații foarte precise ale planetei Mercur au pus în evidență o mică diferență între mișcarea sa și prezicerile teoriei gravitaționale a lui Newton. Teoria generală a relativității a lui Einstein a prezis o mișcare ușor diferită de cea obținută cu teoria lui Newton. Faptul că predicțiile lui Einstein s-au potrivit cu ceea ce a fost văzut, în timp ce predicțiile lui Newton nu s-au potrivit, a reprezentat una din confirmările cruciale ale noii teorii. Totuși, noi utilizăm încă teoria lui Newton pentru toate scopurile practice deoarece diferența dintre predicțiile sale și acelea ale relativității generalizate este foarte mică în situațiile în care avem de-a face cu ea în mod normal. (De asemenea, teoria lui Newton are marele avantaj că este mult mai simplu să lucrezi cu ea decît cea a lui Einstein.)

Scopul final al științei este de a da o singură teorie care descrie întregul univers. Totuși, în realitate, abordarea urmată de majoritatea oamenilor de știință este de a divide problema în două părți. În prima parte, există legi care ne spun cum se modifică universul în timp. (Dacă știm cum este universul la un moment dat, aceste legi fizice ne spun cum va arăta în orice moment ulterior.) În cea de a doua parte, există problema stării inițiale a universului. Unii oameni cred că știința trebuie să se concentreze numai asupra primei părți; ei privesc problema stării inițiale ca pe o chestiune de metafizică sau de religie. Ei ar spune că Dumnezeu, fiind atotputernic, a putut pune în mișcare universul în orice fel ar fi dorit. Ar putea fi așa, dar în acest caz el ar fi putut, de asemenea, să-l facă să evolueze într-un

mod complet arbitrar. Totuși, se pare că el a ales să-l facă să evolueze într-un mod foarte regulat, conform anumitor legi. Prin urmare, pare tot așa de rezonabil să se presupună că există și legi care guvernează starea inițială.

Reiese că este foarte dificil să se elaboreze o teorie care să descrie complet universul. În schimb, am divizat problema în bucăți și am inventat mai multe teorii parțiale. Fiecare dintre aceste teorii parțiale descrie și prezice o anumită clasă limitată de observații, neglijînd efectele celorlalte mărimi, sau reprezentîndu-le prin seturi simple de numere. Poate că această abordare este complet greșită. Dacă orice lucru din univers depinde de oricare alt lucru în mod fundamental, poate fi imposibil să se ajungă la o soluție completă prin cercetarea părților separate ale problemei. Totuși, aceasta este în mod sigur calea pe care am făcut progrese în trecut. Din nou, exemplul clasic este teoria newtoniană a gravitației, care ne spune că forța gravitațională dintre două corpuri depinde numai de un număr asociat fiecărui corp, masa sa, dar altfel este independent de materialul din care este făcut corpul. Astfel, nu trebuie să existe o teorie privind structura și constituția soarelui și planetelor pentru a calcula orbitele lor.

Oamenii de știință de astăzi descriu universul cu ajutorul a două teorii parțiale de bază — teoria generală a relativității și mecanica cuantică. Ele reprezintă marile realizări intelectuale ale primei jumătăți a acestui secol. Teoria generală a relativității descrie forța de gravitație și structura la scară mare a universului, adică structura pe scară de la numai cîțiva kilometri la milioane de milioane de milioane de milioane (unu cu douăzeci și patru de zerouri după el) de kilometri, dimensiunea universului observabil. Pe de altă parte, mecanica cuantică tratează fenomene la scară extrem de mică, cum ar fi o milionime dintr-o milionime de centimetru. Totuși, din nefericire, se știe că aceste teorii

nu sînt compatibile una cu alta — ele nu pot fi ambele corecte. Unul dintre eforturile majore ale fizicii de astăzi, și tema majoră a acestei cărți, este căutarea unei noi teorii care să le încorporeze pe amîndouă — o teorie cuantică a gravitației. Nu avem încă o teorie de acest fel și poate dura mult pînă să avem una, dar cunoaștem deja multe din proprietățile pe care trebuie să le aibă. Și vom vedea, în capitolele următoare, că știm deja destule despre prezicerile pe care trebuie să le facă o teorie cuantică a gravitației.

Acum, dacă credeți că universul nu este arbitrar, ci este guvernat de legi definite, trebuie să combinați teoriile parțiale într-o teorie unificată completă care va descrie totul în univers. Dar, în căutarea unei astfel de teorii unificate complete, există un paradox fundamental. Ideile privind teoriile științifice schițate mai sus presupun că sîntem ființe raționale, libere să observăm universul așa cum dorim și să tragem concluzii logice din ceea ce vedem. Într-o schemă de acest fel este rezonabil să presupunem că putem progresa și mai mult spre legile care guvernează universul nostru. Totuși, dacă există în realitate o teorie unificată completă, ea ar determina probabil și acțiunile noastre. Și astfel teoria însăși ar determina rezultatul cercetării noastre asupra ei. Și de ce trebuie să ne determine ca din dovezi să tragem concluziile juste? Nu poate tot așa de bine să ne determine să tragem concluzii greșite? Sau nici o concluzie?

Singurul răspuns pe care îl pot da acestei probleme se bazează pe principiul selecției naturale al lui Darwin. Ideea este că în orice populație de organisme autoreproducătoare vor exista variații ale materialului genetic și educației pe care le au diferiți indivizi. Aceste diferențe vor însemna că unii indivizi sînt mai capabili decît alții să tragă concluziile juste privind lumea din jurul lor și să acționeze corespunzător. Va exista o probabilitate mai mare ca acești indivizi să supraviețuiască și să se reproducă și astfel tipul lor de comportare și de

gîndire va deveni dominant. În trecut a fost în mod sigur adevărat că ceea ce noi numim inteligență și descoperire științifică a reprezentat un avantaj pentru supraviețuire. Totuși, dacă universul a evoluat în mod regulat, ne putem aștepta ca aptitudinile de gîndire pe care ni le-a dat selecția naturală să fie valabile și în căutarea unei teorii unificate complete și astfel să nu ne conducă la concluzii greșite.

Deoarece teoriile parțiale pe care le avem sînt suficiente pentru a face preziceri corecte pentru toate situațiile în afara celor extreme, căutarea unei teorii finale a universului pare dificil să se justifice din punct de vedere practic. (Totuși, aceasta nu valorează nimic, deoarece argumente similare au putut fi utilizate împotriva teoriei relativității și mecanicii cuantice, iar aceste teorii ne-au dat atît energia nucleară cît și revoluția microelectronicii!) Prin urmare, descoperirea unei teorii unificate complete poate să nu ajute la supraviețuirea speciei noastre. Poate chiar să nu ne afecteze stilul de viață. Dar, chiar de la începuturile civilizației, oamenii nu erau mulțumiți să vadă evenimentele fără legătură și inexplicabile. Ei au dorit cu ardoare înțelegerea ordinii fundamentale a lumii. Astăzi noi tînjim încă să știm de ce sîntem aici și de unde venim. Dorința cea mai profundă a umanității de a cunoaște reprezintă o justificare suficientă a căutării noastre continue. Și scopul nostru este nu mai puțin decît o descriere completă a universului în care trăim.

2
Spațiul și timpul

Ideile actuale asupra mișcării corpurilor datează de la Galilei și Newton. Înaintea lor oamenii îl credeau pe Aristotel, care spunea că starea naturală a unui corp era în repaus și că el se mișcă numai acționat de o forță sau de un impuls. Rezultă că un corp greu trebuie să cadă mai repede decît unul ușor, deoarece ar fi fost atras mai mult spre pămînt.

Tradiția aristoteliană consideră, de asemenea, că toate legile care guvernează universul pot fi elaborate doar prin gîndire pură: nu era necesar să se verifice prin observație. Astfel, nimeni pînă la Galilei nu s-a deranjat să vadă dacă într-adevăr corpurile cu greutăți diferite cad cu viteze diferite. Se spune că Galilei a demonstrat că părerea lui Aristotel era falsă, lăsînd să cadă greutăți din turnul înclinat din Pisa. Povestea este aproape sigur neadevărată, dar Galilei a făcut ceva echivalent: el a lăsat să se rostogolească bile cu greutăți diferite pe o pantă netedă. Situația este similară aceleia a unor corpuri grele care cad vertical, dar este mai ușor de observat deoarece vitezele sînt mai mici. Măsurările lui Galilei au arătat că fiecare corp și-a mărit viteza cu aceeași valoare, indiferent de greutatea sa. De exemplu, dacă lăsați să meargă o bilă pe o pantă care coboară cu un metru la fiecare 10 metri lungime, bila se va deplasa în josul pantei cu o viteză de circa un metru pe secundă după o secundă, de doi metri pe secundă după două secunde ș.a.m.d., indiferent cît de grea este bila. Desigur, o greutate de plumb ar cădea mai repede decît o pană, dar aceasta numai pentru că o pană este înce-

tinită de rezistența aerului. Dacă se lasă să cadă două corpuri care nu întîmpină o rezistență mare a aerului, cum ar fi două greutăți diferite de plumb, ele cad la fel.

Măsurările lui Galilei au fost utilizate de Newton ca bază pentru legile mișcării. În experimentele lui Galilei, atunci cînd un corp se rostogolea pe pantă, el era acționat întotdeauna de aceeași forță (greutatea sa) și efectul era că viteza sa creștea constant. Aceasta arată că efectul real al unei forțe este întotdeauna modificarea vitezei unui corp, nu acela de a-l pune în mișcare, așa cum se credea anterior. Aceasta mai însemna că ori de cîte ori asupra unui corp nu acționează o forță, el își va menține mișcarea în linie dreaptă cu aceeași viteză. Această idee a fost pentru prima dată enunțată explicit de Newton în lucrarea sa *Principia Mathematica* publicată în 1687, și este cunoscută ca legea întîia a lui Newton. Legea a doua a lui Newton explică ce se întîmplă cu un corp atunci cînd asupra sa acționează o forță. Aceasta afirmă că un corp va accelera, sau viteza lui se va modifica, cu o valoare proporțională cu forța. (De exemplu, accelerația este de două ori mai mare, dacă forța este de două ori mai mare.) De asemenea, accelerația este de atîtea ori mai mică de cîte ori este mai mare masa (sau cantitatea de materie) a corpului. (Aceeași forță care acționează asupra unui corp cu masa dublă va produce jumătate din accelerație.) Un exemplu familiar este dat de un automobil: cu cît este mai puternic motorul, cu atît este mai mare accelerația, dar cu cît este mai greu automobilul, cu atît este mai mică accelerația, pentru același motor.

În plus față de legile mișcării, Newton a descoperit o lege care descrie forța de gravitație; aceasta afirmă că fiecare corp atrage orice alt corp cu o forță proporțională cu masa fiecărui corp. Astfel, forța dintre două corpuri va fi de două ori mai puternică dacă unul dintre corpuri (să spunem, corpul A) are masa de două ori mai mare. Acest lucru este de așteptat deoarece se poate

considera că noul corp A este format din două corpuri cu masa inițială. Fiecare ar atrage corpul B cu forța inițială. Astfel, forța totală dintre A și B ar fi de două ori forța inițială. Și dacă, să presupunem, unul dintre corpuri avea de două ori masa inițială și celălalt avea de trei ori masa sa inițială, atunci forța ar fi de șase ori mai puternică. Se poate vedea acum de ce toate corpurile cad la fel: un corp cu greutatea dublă va avea o forță de gravitație dublă care-l trage în jos, dar va avea și masa dublă. Conform legii a doua a lui Newton, aceste două efecte se vor anula unul pe celălalt, astfel că accelerația va fi aceeași în toate cazurile.

Legea gravitației a lui Newton ne mai spune că, atunci cînd corpurile sînt mai depărtate, forța este mai mică. Legea gravitației a lui Newton spune că atracția gravitațională a unei stele este exact un sfert din aceea a unei stele similare aflate la jumătatea distanței. Această lege prezice cu mare precizie orbitele pămîntului, lunii și planetelor. Dacă legea ar fi că atracția gravitațională a unei stele scade mai rapid cu distanța, orbitele planetelor nu ar fi eliptice, ele ar fi spirale spre soare. Dacă ea ar scădea mai lent, forțele gravitaționale ale stelelor depărtate ar predomina față de aceea a pămîntului.

Marea diferență dintre ideile lui Aristotel și acelea ale lui Galilei și Newton este că Aristotel credea într-o stare preferențială de repaus, pe care orice corp ar trebui s-o aibă dacă nu s-ar acționa asupra sa cu o forță sau un impuls. În particular, el credea că pămîntul era în repaus. Dar din legile lui Newton rezultă că nu există un criteriu unic al repausului. Se poate spune tot așa de bine că, să presupunem, corpul A era în repaus și corpul B în mișcare cu viteză constantă în raport cu corpul A, sau corpul B era în repaus și corpul A era în mișcare. De exemplu, dacă se lasă deoparte pentru moment rotația pămîntului și mișcarea pe orbită în jurul soarelui, se poate spune că pămîntul era în repaus și că un tren de pe pămînt se deplasa spre nord cu

nouăzeci de mile pe oră sau că trenul era în repaus și că pămîntul era în mișcare spre sud cu 145 km pe oră. Dacă se efectuează experimente cu corpuri în mișcare în tren, toate legile lui Newton sînt de asemenea valabile. De exemplu, jucînd ping-pong în tren, s-ar găsi că mingea ascultă de legile lui Newton exact ca o minge pe o masă de lîngă calea ferată. Astfel nu există nici o modalitate de a spune cine se mișcă: trenul sau pămîntul.

Lipsa unui criteriu absolut pentru repaus înseamnă că nu se poate determina dacă două evenimente care au loc la momente diferite se produc în aceeași poziție în spațiu. De exemplu, să presupunem că mingea de ping-pong din tren saltă în sus și în jos, lovind masa de două ori în același loc la distanță de o secundă. Pentru cineva de lîngă calea ferată cele două salturi ar părea că au loc la patruzeci de metri distanță, deoarece aceasta este distanța parcursă de tren pe calea ferată, între salturi. Prin urmare, inexistența unui repaus absolut înseamnă că nu se poate da unui eveniment o poziție absolută în spațiu așa cum credea Aristotel. Pozițiile evenimentelor și distanțele dintre ele ar fi diferite pentru o persoană din tren și una de lîngă calea ferată și nu ar exista un motiv pentru a prefera poziția unei persoane sau a celeilalte.

Newton a fost foarte îngrijorat de această lipsă a poziției absolute, sau a spațiului absolut așa cum a fost numit, deoarece ea nu era în concordanță cu ideea sa despre un Dumnezeu absolut. De fapt, el a refuzat să accepte lipsa unui spațiu absolut, chiar dacă aceasta era o consecință a legilor sale. Pentru această credință irațională el a fost sever criticat de mulți, cel mai notabil fiind episcopul Berkeley, un filozof care credea că toate obiectele materiale și spațiul și timpul sînt o iluzie. Cînd faimosului dr Johnson i s-a spus despre părerea lui Berkeley, el a strigat „O resping astfel" și a făcut un gest de strivire cu piciorul pe o piatră mare.

Atît Aristotel cît și Newton credeau în timpul absolut. Adică, ei credeau că intervalul de timp dintre două evenimente se poate măsura fără ambiguități și că acest timp ar fi același indiferent cine l-ar măsura, cu condiția să aibă un ceas bun. Timpul era complet separat de spațiu și independent de acesta. Majoritatea oamenilor ar spune că acesta este un punct de vedere de bun-simț. Totuși, trebuie să ne schimbăm părerile despre spațiu și timp. Deși aparent noțiunile noastre de bun-simț acționează corect cînd se tratează obiecte ca merele, sau planetele, care se deplasează relativ lent, ele nu mai acționează pentru obiecte care se deplasează cu sau aproape de viteza luminii.

Faptul că lumina se propagă cu o viteză finită, dar foarte mare, a fost descoperit prima oară în 1686 de astronomul danez Ole Christensen Roemer. El a observat că timpii în care sateliții lui Jupiter treceau în spatele lui Jupiter nu erau egal distanțați, așa cum ar fi de așteptat dacă sateliții s-ar deplasa în jurul lui Jupiter cu viteză constantă. Deoarece pămîntul și Jupiter se deplasează pe orbite în jurul Soarelui, distanța dintre ele variază. Roemer a observat că eclipsele sateliților lui Jupiter apăreau cu atît mai tîrziu cu cît noi eram mai departe de Jupiter. El a argumentat că acest lucru se întîmplă deoarece lumina provenită de la sateliți are nevoie de mai mult timp pentru a ajunge la noi atunci cînd sîntem mai departe. Totuși, măsurările variațiilor distanței dintre pămînt și Jupiter, făcute de el, nu erau foarte precise, astfel că valoarea sa pentru viteza luminii era de 225 000 km pe secundă, față de valoarea modernă de 300 000 km pe secundă. Cu toate acestea, realizarea lui Roemer, care nu numai că a dovedit că lumina se propagă cu viteză finită dar a și măsurat acea viteză, a fost remarcabilă — apărînd cu unsprezece ani înainte ca Newton să publice *Principia Mathematica*.

O teorie corectă a propagării luminii nu a apărut pînă în 1865 cînd fizicianul britanic James Clerk Max-

well a reușit să unifice teoriile parțiale care fuseseră utilizate pînă atunci pentru descrierea forțelor electricității și magnetismului. Ecuațiile lui Maxwell precizau că în cîmpul combinat electromagnetic puteau exista perturbații ondulatorii și acestea se propagau cu viteză fixă, ca undele dintr-un bazin. Dacă lungimea de undă a acestora (distanța dintre două vîrfuri succesive ale undei) este de un metru sau mai mare, ele sînt ceea ce acum numim unde radio. Pentru lungimi de undă mai mici de cîțiva centimetri, ele se numesc microunde sau infraroșii (mai mari decît a zecea mia parte dintr-un centimetru). Lumina vizibilă are o lungime de undă între a patruzecea mia parte și a optzecea mia parte dintr-un centimetru. Pentru lungimi de undă și mai scurte, ele se numesc raze ultraviolete, X și gamma.

Teoria lui Maxwell prezicea că undele radio sau luminoase trebuie să se deplaseze cu o anumită viteză fixă.

Din teoria lui Newton el eliminase ideea de repaus absolut, astfel că dacă se presupunea că lumina se deplasează cu viteză fixă, trebuie să se indice și în raport cu ce trebuie măsurată acea viteză fixă. Prin urmare s-a sugerat că există o substanță numită „eter“ care există peste tot chiar în spațiul „gol“. Undele de lumină trebuie să se deplaseze prin eter așa cum undele sonore se deplasează în aer și viteza lor trebuie deci să fie în raport cu eterul. Diferiți observatori, care se deplasează în raport cu eterul, ar vedea lumina venind spre ei cu viteze diferite, dar viteza luminii în raport cu eterul ar rămîne fixă. În particular, atunci cînd pămîntul se mișcă prin eter pe orbita sa în jurul soarelui, viteza luminii măsurată în direcția mișcării pămîntului prin eter (cînd noi ne mișcăm spre sursa de lumină) trebuie să fie mai mare decît viteza luminii pe o direcție perpendiculară față de direcția mișcării (cînd noi nu ne mișcăm spre sursă). În 1887 Albert Michelson (care apoi a devenit primul american ce a primit premiul

Nobel pentru fizică) și Edward Morley au efectuat un experiment foarte atent la Case School of Applied Science din Cleveland. Ei au comparat viteza luminii în direcția mișcării pămîntului cu aceea în direcția perpendiculară pe cea a mișcării pămîntului. Spre marea lor surpriză, au găsit că ele sînt aceleași!

Între 1887 și 1905 au fost cîteva încercări, cea mai notabilă a fizicianului olandez Hendrik Lorentz, pentru a explica rezultatul experimentului Michelson–Morley prin obiecte care se contractă și ceasuri care rămîn în urmă atunci cînd se mișcă prin eter. Totuși, într-o faimoasă lucrare din 1905, un funcționar pînă atunci necunoscut din biroul elvețian de patente, Albert Einstein, a arătat că întreaga idee a eterului nu era necesară, cu condiția să se abandoneze ideea timpului absolut. O atitudine similară a fost luată cîteva săptămîni mai tîrziu de un matematician francez de primă mărime, Henri Poincaré. Argumentele lui Einstein erau mai aproape de fizică decît acelea ale lui Poincaré care considera că problema este matematică. De obicei noua teorie i se atribuie lui Einstein, dar Poincaré este amintit ca avînd numele legat de o parte importantă a sa.

Postulatul fundamental al teoriei relativității, cum a fost numită, era că legile științei trebuie să fie aceleași pentru orice observatori care se mișcă liber, indiferent de viteza lor. Acest lucru era adevărat pentru legile mișcării ale lui Newton, dar acum ideea a fost dezvoltată pentru a include teoria lui Maxwell și viteza luminii; toți observatorii trebuie să măsoare aceeași viteză a luminii, indiferent cît de repede se mișcă ei. Această idee simplă are unele consecințe remarcabile. Probabil cele mai bine cunoscute sînt echivalența masei și energiei, exprimată de faimoasa ecuație a lui Einstein: $E = mc^2$ (unde E este energia, m este masa și c este viteza luminii) și legea că nici un corp nu se poate deplasa mai repede decît viteza luminii. Datorită echivalenței energiei și masei, energia pe care o are un corp datorită mișcării sale se va adăuga masei sale. Cu alte

cuvinte, va face să fie mai greu să i se mărească viteza. În realitate acest efect este semnificativ numai pentru obiecte care se mișcă cu viteze apropiate de viteza luminii. De exemplu, la 10% din viteza luminii, masa unui obiect este cu numai 0,5% mai mare decît în mod normal, în timp ce la 90% din viteza luminii ea ar fi de mai mult de două ori masa lui normală. Atunci cînd un obiect se apropie de viteza luminii, masa lui crește și mai rapid, astfel încît este necesară din ce în ce mai multă energie pentru a-i mări viteza. De fapt, el nu poate atinge viteza luminii, deoarece masa lui ar deveni infinită și, prin echivalența energiei și masei, ar trebui o cantitate infinită de energie pentru a realiza aceasta. De aceea, orice obiect normal este întotdeauna limitat de relativitate să se miște cu viteze mai mici decît viteza luminii. Numai lumina sau alte unde care nu au masă intrinsecă se pot deplasa cu viteza luminii.

O consecință tot atît de remarcabilă a relativității este modul în care ea a revoluționat ideile noastre despre spațiu și timp. În teoria lui Newton, dacă un impuls de lumină este trimis dintr-un loc în altul, diferiți observatori ar fi de acord asupra timpului necesar pentru acea deplasare (deoarece timpul este absolut), dar nu vor fi de acord întotdeauna asupra distanței parcurse de lumină (deoarece spațiul nu este absolut). Deoarece viteza luminii este raportul dintre distanța pe care a parcurs-o și timpul necesar pentru aceasta, observatori diferiți vor măsura viteze diferite ale luminii. Pe de altă parte, în relativitate, toți observatorii trebuie să fie de acord asupra vitezei luminii. Totuși, ei tot nu sînt de acord asupra distanței pe care a parcurs-o lumina, astfel că acum ei nu trebuie deci să fie de acord nici asupra timpului necesar pentru aceasta. (Timpul reprezintă raportul dintre distanța pe care a parcurs-o lumina — asupra căreia observatorii nu sînt de acord — și viteza luminii — asupra căreia ei sînt de acord.) Cu alte cuvinte, teoria relativității pune capăt ideii timpului absolut! Reiese că fiecare obser-

vator trebuie să aibă propria măsură a timpului, înregistrată de un ceas pe care îl poartă cu el și că ceasuri identice purtate de observatori diferiți nu vor fi, în mod necesar, de acord.

Fiecare observator poate utiliza radarul pentru a spune unde și cînd are loc un eveniment, trimițînd un impuls de lumină sau unde radio. O parte din impuls se reflectă înapoi la locul de producere a evenimentului și observatorul măsoară timpul după care primește ecoul. Atunci se spune că timpul producerii evenimentului este exact la mijloc, între momentul trimiterii impulsului și momentul primirii undelor reflectate; distanța la care se produce evenimentul este jumătate din timpul pentru această deplasare dus-întors înmulțit cu viteza luminii. (În acest sens, un eveniment este ceva care are loc într-un singur punct în spațiu, într-un moment specificat.) Această idee este prezentată în figura 2.1, care reprezintă un exemplu de diagramă spațiu-timp. Utilizînd acest procedeu, observatorii care se mișcă unii față de alții vor atribui timpi diferiți și poziții diferite aceluiași eveniment. Nici o măsurare a unui anumit observator nu este mai corectă decît o măsurare a altui observator, dar toate măsurările sînt corelate. Orice observator poate calcula precis ce timp și ce poziție va atribui evenimentului oricare alt observator, cu condiția să știe viteza relativă a celuilalt observator.

Astăzi noi utilizăm această metodă pentru a măsura precis distanțele, deoarece putem măsura timpul mai precis decît lungimea. De fapt, metrul este definit ca fiind distanța parcursă de lumină în 0,000000003335640952 secunde, măsurate cu un ceas cu cesiu. (Explicația acestui număr este că el corespunde definiției istorice a metrului — în funcție de două semne pe o anumită bară de platină ținută la Paris.) De asemenea, putem utiliza o unitate de lungime nouă, mai convenabilă, numită secundă-lumină. Aceasta este definită simplu ca fiind distanța parcursă de lumină într-o secundă.

În teoria relativității, definim acum distanța în funcție de timp și viteza luminii, astfel că rezultă automat că fiecare observator va măsura aceeași viteză a luminii (prin definiție, 1 metru pe 0,000000003335640952 secunde). Nu este nevoie să se introducă ideea de eter, a cărui prezență oricum nu poate fi detectată așa cum a arătat experimentul Michelson–Morley. Totuși, teoria relativității ne forțează să ne schimbăm fundamental ideile despre spațiu și timp. Trebuie să acceptăm că timpul nu este complet separat și independent de spațiu, ci se combină cu acesta formînd un obiect numit spațiu-timp.

Este bine cunoscut că poziția unui punct în spațiu poate fi descrisă de trei numere, sau coordonate. De exemplu, se poate spune că un punct dintr-o cameră se găsește la doi metri față de un perete, la un metru de altul și un metru și jumătate deasupra podelei. Sau se poate stabili că un punct era la o anumită latitudine și longitudine și la o anumită înălțime deasupra nivelului mării. Se pot utiliza oricare trei coordonate adecvate, deși ele au doar un domeniu limitat de valabilitate. Nu s-ar putea specifica poziția lunii printr-un număr de kilometri la nord și la vest de Piccadilly Circus și la un număr de metri deasupra nivelului mării. În schimb, ea se poate descrie prin distanța față de soare, distanța față de planul orbitelor planetelor și unghiul dintre linia care unește luna și soarele și linia care unește soarele cu o stea apropiată cum ar fi Alpha Centauri. Chiar aceste coordonate nu ar fi de mare folos pentru descrierea poziției soarelui în galaxia noastră sau a poziției galaxiei noastre în grupul local de galaxii. De fapt, întregul univers se poate descrie printr-o colecție de zone care se suprapun. În fiecare zonă, pentru a specifica poziția unui punct se poate utiliza un set diferit de trei coordonate.

Un eveniment este ceva care se întîmplă într-un anumit punct din spațiu și într-un anumit moment. Astfel, el poate fi specificat prin patru numere sau coor-

donate. Și aici, alegerea coordonatelor este arbitrară; se pot utiliza oricare trei coordonate spațiale bine definite și oricare măsură a timpului. În teoria relativității nu există o distincție reală între coordonatele spațiale și temporale exact așa cum nu există o diferență reală între oricare două coordonate spațiale. Se poate alege un set nou de coordonate în care, să spunem, prima coordonată spațială era o combinație între prima și a doua dintre vechile coordonate spațiale. De exemplu, în loc de a măsura poziția unui punct de pe pămînt prin distanța în kilometri la nord de Piccadilly și la vest de Piccadilly se poate utiliza distanța în kilometri la nord-est de Piccadilly și la nord-vest de Piccadilly. Asemănător, în teoria relativității se poate utiliza o nouă coordonată temporală care era vechiul timp (în secunde) plus distanța (în secunde-lumină) la nord de Piccadilly.

Adesea este util să se ia în considerare cele patru coordonate ce specifică poziția sa într-un spațiu cvadri-dimensional numit spațiu-timp. Este imposibil să se imagineze un spațiu cvadri-dimensional. Mie personal mi se pare destul de greu să vizualizez spațiul tri-dimensional! Totuși, este ușor să se traseze diagrame ale spațiilor bi-dimensionale, cum este suprafața pămîntului. (Suprafața pămîntului este bi-dimensională deoarece poziția unui punct poate fi specificată prin două coordonate, latitudine și longitudine.) În general, eu voi utiliza diagrame în care timpul crește în sus și una din dimensiunile spațiale este prezentată orizontal. Celelalte două dimensiuni spațiale sînt ignorate sau, uneori, una din ele este indicată în perspectivă. (Acestea se numesc diagrame spațio-temporale, cum este figura 2.1.) De exemplu, în figura 2.2 timpul se măsoară pe verticală în ani și distanța de-a lungul liniei de la soare la Alpha Centauri se măsoară pe orizontală în kilometri. Traiectoriile soarelui și Alpha Centauri în spațiu și timp sînt prezentate ca linii verticale în

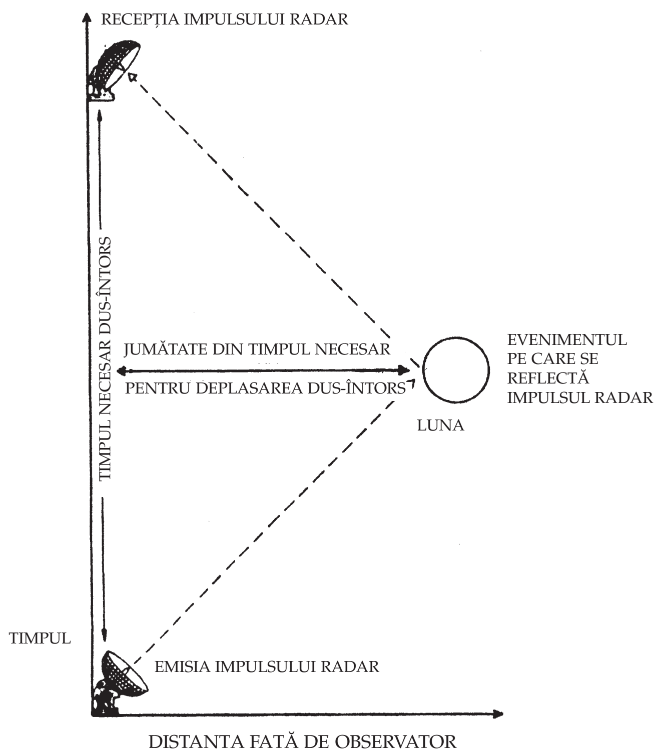


FIGURA 2.1.

Timpul se măsoară vertical și distanța față de observator orizontal. Traiectoria observatorului în spațiu și timp este prezentată ca o linie verticală în stînga. Traiectoriile razelor de lumină la și de la eveniment sînt liniile oblice.

stînga și în dreapta diagramei. O rază de lumină de la soare urmează o linie diagonală și are nevoie de patru ani pentru a ajunge de la soare la Alpha Centauri.

Așa cum am văzut, ecuațiile lui Maxwell preziceau că viteza luminii trebuie să fie aceeași indiferent de viteza sursei, și acest lucru a fost confirmat de măsurări

precise. Rezultă din aceasta că dacă se emite un impuls de lumină la un anumit moment și într-un anumit punct din spațiu, atunci pe măsură ce trece timpul el se va împrăștia ca o sferă de lumină ale cărei dimensiune și poziție sînt independente de viteza sursei. După

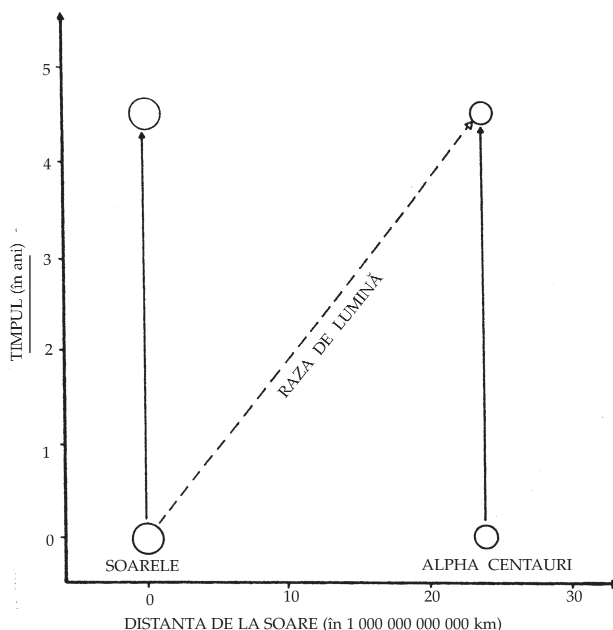


FIGURA 2.2

o milionime de secundă lumina se va împrăștia formînd o sferă cu raza de 300 metri; după două milionimi de secundă, raza va fi de 600 metri ș.a.m.d. Va fi la fel ca undele care se răspîndesc pe suprafața unui bazin cînd se aruncă o piatră în apă. Undele se răspîndesc ca un cerc ce devine tot mai mare cu trecerea timpului. Dacă se consideră un model tri-dimensional care constă din suprafața bi-dimensională a bazinului și o dimensiune a timpului, cercul de unde în expansiune va marca un con cu vîrful în locul și timpul în

care piatra a lovit apa (fig. 2.3). Asemănător, lumina care se răspîndește de la un eveniment formează un con tridimensional în spațiu-timpul cvadri-dimensional. Acest con se numește conul de lumină viitor al evenimentului. În același fel putem trasa un alt con, numit conul de lumină trecut, care reprezintă setul de evenimente din care impulsul de lumină poate ajunge la evenimentul dat (fig. 2.4).

Conurile de lumină trecut și viitor ale evenimentului P împart spațiul-timpul în trei regiuni (fig. 2.5). Viitorul absolut al evenimentului este regiunea din interiorul conului de lumină viitor al lui P. El este setul tuturor evenimentelor care pot fi afectate de ceea ce se întîmplă în P. Evenimentele din afara conului de lumină al lui P nu pot fi ajunse de semnalele din P deoarece nimic nu se deplasează mai repede decît lumina. Prin urmare ele nu pot fi influențate de ceea ce se întîmplă în P. Trecutul absolut al lui P este regiunea din interiorul conului de lumină trecut. El este setul tuturor evenimentelor ale căror semnale care se deplasează la sau sub viteza luminii pot ajunge în P. El este setul tuturor evenimentelor care pot afecta ceea ce se întîmplă în P. Dacă se cunoaște ceea ce se întîmplă la un anumit moment undeva într-o regiune a spațiului care se găsește în conul de lumină trecut al lui P, se poate prezice ce se va întîmpla în P. Restul reprezintă regiunea de spațiu-timp care nu se găsește în conurile de lumină viitor sau trecut ale lui P. Evenimentele din această regiune nu pot afecta sau nu pot fi afectate de evenimente din P. De exemplu, dacă soarele ar înceta să lumineze chiar în momentul de față, el nu ar afecta obiectele de pe Pămînt în momentul de față deoarece ele s-ar găsi în regiunea din afara conului evenimentului corespunzînd stingerii soarelui (fig. 2.6). Noi am ști despre aceasta numai după 8 minute, timpul necesar luminii să ajungă de la soare la noi. Numai atunci evenimentele de pe Pămînt s-ar găsi în conul de lumină viitor al evenimentului corespunzător stingerii soarelui. În mod asemănător, nu cunoaștem ce se în-

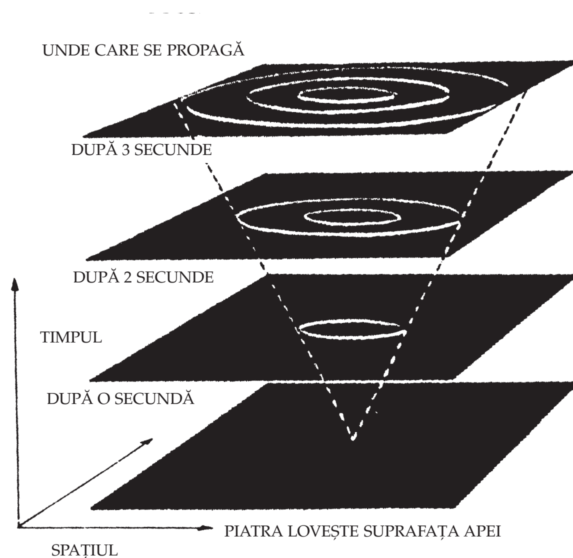


FIGURA 2.3

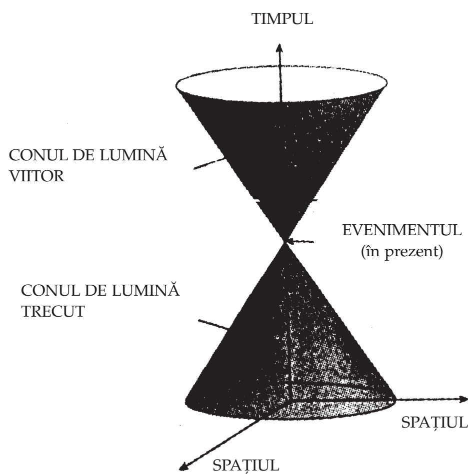


FIGURA 2.4

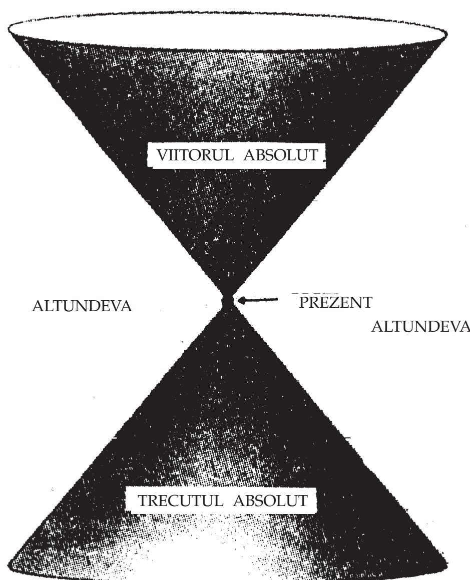


FIGURA 2.5

tîmplă la momente îndepărtate în univers; lumina pe care o vedem de la galaxiile îndepărtate le-a părăsit acum milioane de ani și în cazul obiectelor celor mai îndepărtate pe care le vedem, lumina le-a părăsit acum circa opt miliarde de ani. Astfel, cînd privim universul, îl vedem așa cum a fost în trecut.

Dacă se neglijează efectele gravitaționale, așa cum au făcut Einstein și Poincaré în 1905, se obține ceea se numește teoria specială a relativității. Pentru fiecare eveniment în spațiu-timp putem construi un con de lumină (setul tuturor traiectoriilor posibile ale luminii în spațiu-timp emise de eveniment) și deoarece viteza

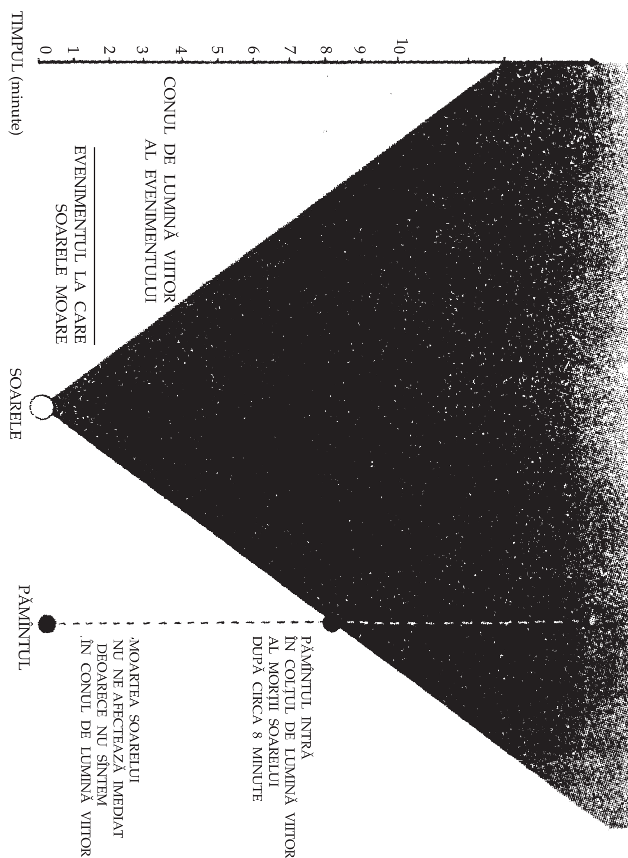


FIGURA 2.6

luminii este aceeași pentru orice eveniment și în orice direcție, toate conurile de lumină vor fi identice și vor fi îndreptate în aceeași direcție. Teoria mai spune că nimic nu se poate deplasa mai repede decît lumina. Aceasta înseamnă că traiectoria oricărui obiect în spațiu și timp trebuie să fie reprezentată printr-o linie care se găsește în interiorul conului de lumină pentru fiecare eveniment din el (fig. 2.7).

Teoria specială a relativității a reușit foarte bine să explice că viteza luminii apare aceeași pentru toți observatorii (așa cum a arătat experimentul Michelson-Morley) și să descrie ce se întîmplă atunci cînd

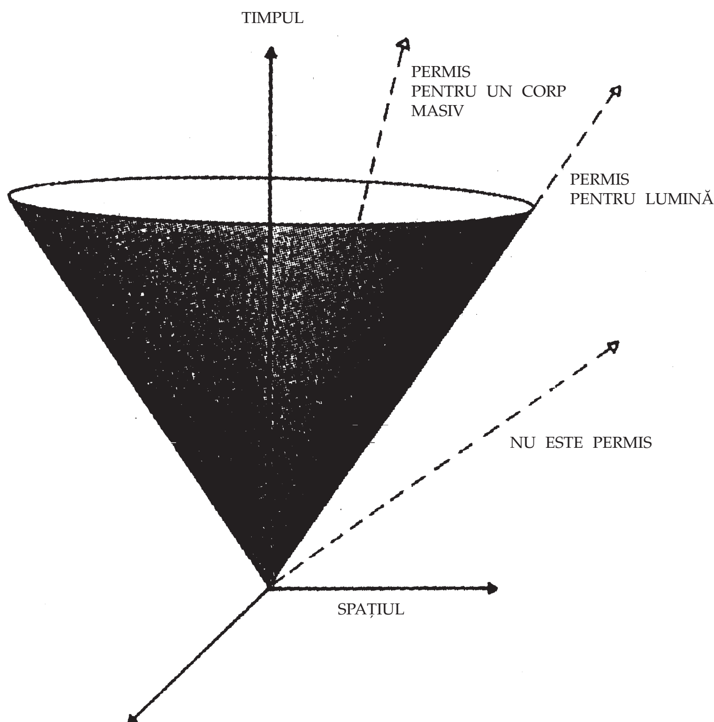


FIGURA 2.7

obiectele se mișcă la viteze apropiate de viteza luminii. Totuși, ea nu era compatibilă cu teoria newtoniană a gravitației, care spune că obiectele se atrăgeau unele pe altele cu o forță care depinde de distanța dintre ele. Aceasta înseamnă că dacă se deplasează unul dintre obiecte, forța exercitată asupra celorlalte s-ar schimba instantaneu. Sau, cu alte cuvinte, efectele gravitaționale

s-ar deplasa cu viteză infinită, în loc să se deplaseze la sau sub viteza luminii, așa cum cerea teoria specială a relativității. Între 1908 și 1914 Einstein a făcut mai multe încercări nereușite de a găsi o teorie a gravitației care să fie compatibilă cu teoria specială a relativității. În cele din urmă, în 1915, el a propus ceea ce noi numim acum teoria generală a relativității.

Einstein a emis ipoteza revoluționară că gravitația nu este o forță ca celelalte forțe, ci este o consecință a faptului că spațiu-timpul nu este plan, așa cum s-a presupus anterior; el este curbat, sau „înfășurat", de distribuția masei și energiei în el. Corpuri ca pămîntul nu sînt determinate să se miște pe orbite curbe de o forță numită gravitație; în schimb ele urmează corpul cel mai apropiat printr-o traiectorie dreaptă într-un spațiu curbat, care se numește o linie geodezică. O linie geodezică este traiectoria cea mai scurtă (sau cea mai lungă) între două puncte apropiate. De exemplu, suprafața pămîntului este un spațiu curbat bi-dimensional. O linie geodezică pe pămînt se numește un cerc mare și este ruta cea mai scurtă dintre două puncte (fig. 2.8). Deoarece linia geodezică este calea cea mai scurtă între două aeroporturi, aceasta este ruta pe care un navigator aerian o va indica pilotului pentru zbor. În relativitatea generalizată, corpurile urmează întotdeauna linii drepte în spațiu-timpul cvadri-dimensional dar, cu toate acestea, nouă ni se va părea că se deplasează pe traiectorii curbe în spațiul nostru tri-dimensional. (Este la fel ca atunci cînd se privește un avion care zboară deasupra unui teren deluros. Deși el urmează o linie dreaptă în spațiul tri-dimensional, urma sa parcurge o traiectorie curbată pe solul bi-dimensional.)

Masa soarelui curbează spațiu-timpul astfel încît deși pămîntul urmează o linie dreaptă în spațiu-timpul cvadri-dimensional, nouă ni se pare că se mișcă de-a lungul unei orbite circulare în spațiul tri-dimensional. De fapt, orbitele planetelor prezise de relativitatea

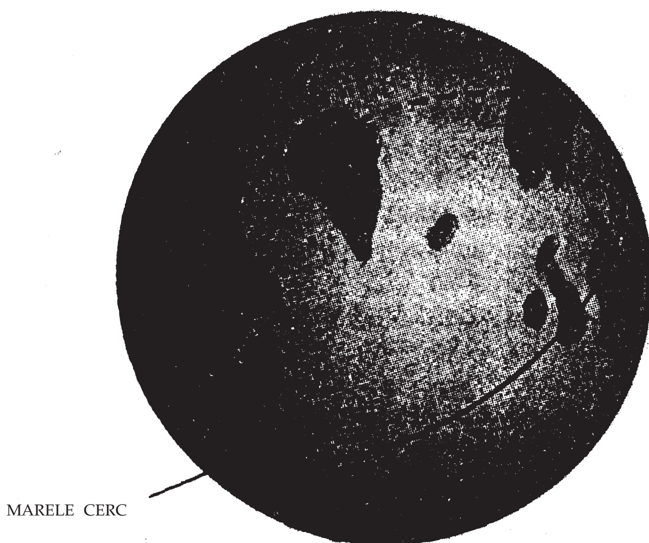


FIGURA 2.8

generalizată sînt aproape exact aceleași cu cele prezise de teoria newtoniană a gravitației. Totuși, în cazul lui Mercur care, fiind cea mai apropiată planetă de soare, simte efectele gravitaționale cel mai puternic și are o orbită mai alungită, relativitatea generalizată prezice că axa lungă a elipsei trebuie să se rotească în jurul soarelui cu o valoare de circa un grad în zece mii de ani. Oricît de mic este acest efect, el a fost observat înainte de 1915 și a servit drept una din primele confirmări ale teoriei lui Einstein. În ultimii ani au fost măsurate cu radarul abateri chiar mai mici ale orbitelor celorlalte planete față de prezicerile newtoniene și s-a descoperit că sînt în concordanță cu prezicerile relativității generalizate.

De asemenea, razele de lumină trebuie să urmeze linii geodezice în spațiu-timp. Din nou, faptul că spațiul este curbat înseamnă că lumina nu mai pare că se pro-

pagă după linii drepte în spațiu. Astfel, relativitatea generalizată prezice că lumina trebuie să fie curbată de cîmpurile gravitaționale. De exemplu, teoria prezice că conurile de lumină ale punctelor din apropierea soarelui ar fi ușor curbate spre interior, datorită masei soarelui. Aceasta înseamnă că lumina unei stele îndepărtate care trece pe lîngă soare ar fi deviată cu un unghi mic, făcînd ca steaua să apară într-o poziție diferită pentru un observator de pe pămînt (fig. 2.9). Desigur, dacă lumina stelei a trecut întotdeauna în apropierea soarelui, noi nu am putea spune dacă lumina a fost deviată sau steaua a fost în realitate acolo unde

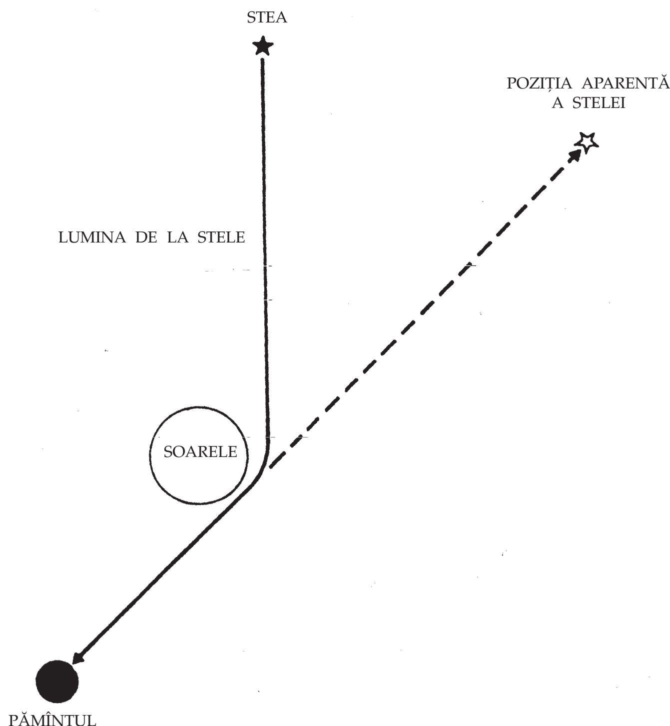


FIGURA 2.9

o vedem. Totuși, atunci cînd pămîntul se mișcă în jurul soarelui, diferite stele par a trece în spatele soarelui și lumina lor este deviată. Prin urmare, ele își schimbă poziția aparentă în raport cu celelalte stele.

În mod normal, acest efect este foarte greu de văzut, deoarece lumina soarelui face imposibilă observarea stelelor care apar pe cer în apropierea soarelui. Totuși, acest lucru este posibil în timpul unei eclipse de soare, cînd lumina soarelui este blocată de lună. Prezicerea lui Einstein privind devierea luminii nu a putut fi testată imediat în 1915, deoarece era în timpul primului război mondial și abia în 1919 o expediție britanică, ce a observat o eclipsă din vestul Africii, a arătat că într-adevăr lumina a fost deviată de soare, exact așa cum a prezis teoria. Această verificare a unei teorii germane de oameni de știință britanici a fost salutată ca un act măreț de reconciliere între cele două țări după război. De aceea, este o ironie că o examinare ulterioară a fotografiilor luate de acea expediție a arătat că erorile erau tot atît de mari ca și efectul pe care încercau să-l măsoare. Măsurarea lor a fost un noroc pur, sau un caz de cunoaștere a rezultatului pe care au dorit să-l obțină, o întîmplare care nu este neobișnuită în știință. Totuși, devierea luminii a fost precis confirmată de mai multe observații ulterioare.

O altă prezicere a relativității generalizate este că timpul trebuie să pară că trece mai încet lîngă un corp masiv ca pămîntul. Aceasta deoarece există o relație între energia luminii și frecvența sa (adică numărul de unde de lumină pe secundă): cu cît este mai mare energia cu atît este frecvența mai mare. Atunci cînd lumina se propagă în sus în cîmpul gravitațional al pămîntului, ea pierde energie și astfel frecvența sa scade. (Aceasta înseamnă că timpul dintre un vîrf al undei și următorul crește.) Pentru cineva aflat la înălțime ar părea că tot ce se întîmplă jos necesită un timp mai lung. Această prezicere a fost testată în 1962, cu ajutorul unei perechi de ceasuri foarte precise montate în vîrful și la baza unui turn de apă. S-a descoperit că ceasul de

la bază, care era mai aproape de pămînt, mergea mai încet, în exactă concordanță cu relativitatea generalizată. Diferența de viteză a ceasurilor la diferite înălțimi deasupra pămîntului este acum de importanță practică considerabilă, o dată cu apariția sistemelor de navigație foarte precise bazate pe semnale de la sateliți. Dacă se ignoră prezicerile relativității generalizate, poziția calculată va fi greșită cu cîțiva kilometri.

Legea mișcării a lui Newton pune capăt ideii de poziție absolută în spațiu. Teoria relativității a renunțat la timpul absolut. Să considerăm o pereche de gemeni. Să presupunem că unul dintre gemeni se duce să trăiască pe vîrful unui munte, iar celălalt locuiește la malul mării. Primul va îmbătrîni mai repede decît al doilea. Astfel, dacă se întîlnesc, unul va fi mai în vîrstă decît celălalt. În acest caz, diferența de vîrstă va fi foarte mică, dar ea ar fi mult mai mare dacă unul dintre gemeni pleacă într-o călătorie lungă cu o navă spațială care se deplasează cu o viteză apropiată de viteza luminii. Atunci cînd se întoarce, el va fi mult mai tînăr decît cel care a rămas pe pămînt. Acesta se numește paradoxul gemenilor, dar el este un paradox numai dacă se consideră că timpul este absolut. În teoria relativității nu există timp absolut unic, dar în schimb fiecare individ are propria sa măsură a timpului care depinde de locul către care se deplasează și de modul în care se deplasează.

Înainte de 1915, spațiul și timpul au fost considerate ca o arenă fixă în care au loc evenimentele, dar care nu este afectată de ceea ce se întîmplă în ea. Acest lucru a fost adevărat chiar pentru teoria specială a relativității. Corpurile se mișcau, forțele atrăgeau și respingeau, dar timpul și spațiul pur și simplu continuau să rămînă neafectate. Era natural să se considere că spațiul și timpul se derulau la infinit.

Totuși, în teoria generală a relativității situația este destul de diferită. Spațiul și timpul sînt acum mărimi dinamice: atunci cînd un corp se mișcă, sau o forță

acționează, aceasta afectează curbarea spațiului și timpului — și la rîndul său structura spațiu-timpului afectează modul în care corpurile se mișcă și forțele acționează. Spațiul și timpul nu numai că afectează, dar sînt afectate de orice se întîmplă în univers. Exact așa cum nu se poate vorbi despre evenimente din univers fără noțiuni de spațiu și timp, tot așa în relativitatea generalizată nu are sens să se vorbească despre spațiu și timp în afara universului.

Pentru următoarele decenii această nouă înțelegere a spațiului și timpului a revoluționat imaginea noastră despre univers. Vechea idee despre universul în esență neschimbător care a existat și continuă să existe a fost înlocuită pentru totdeauna cu noțiunea de univers dinamic în expansiune care părea să fi început la un moment finit în trecut și care ar putea să se termine la un moment finit în viitor. Această revoluție formează subiectul următorului capitol. Și, ani de zile mai tîrziu, a fost de asemenea punctul de început al activității mele în fizica teoretică. Roger Penrose și cu mine am arătat că teoria generală a relativității a lui Einstein însemna că universul trebuie să aibă un început și, posibil, un sfîrșit.

3
Universul în expansiune

Dacă cineva privește cerul într-o noapte senină, fără lună, obiectele cele mai strălucitoare care se văd sînt probabil planetele Venus, Marte, Jupiter și Saturn. Vor mai fi și un număr mare de stele exact la fel ca soarele nostru, dar mult mai departe de noi. De fapt, unele din aceste stele fixe par a-și schimba foarte lent pozițiile una față de cealaltă atunci cînd pămîntul se mișcă pe orbită în jurul soarelui: în realitate ele nu sînt deloc fixe! Aceasta deoarece ele sînt relativ aproape de noi. Pe măsură ce pămîntul se mișcă în jurul soarelui le vedem din diferite poziții pe fondul stelelor mult mai îndepărtate. Din fericire, aceasta ne permite să măsurăm direct distanța dintre stele și noi: cu cît sînt mai aproape, cu atît par că se deplasează mai mult. Steaua cea mai apropiată, numită Proxima Centauri, este la o distanță de circa patru ani lumină (lumina care vine de la ea are nevoie de circa patru ani să ajungă la Pămînt), sau aproape treizeci și șapte de milioane de milioane de kilometri. Majoritatea celorlalte stele care sînt vizibile cu ochiul liber se găsesc în limitele a cîteva sute de ani lumină de noi. Pentru comparație, soarele nostru este la numai 8 minute lumină depărtare! Stelele vizibile apar împrăștiate pe tot cerul nopții, dar sînt concentrate în special într-o bandă pe care o numim Calea Lactee. În anul 1750, unii astronomi sugerau că apariția Căii Lactee poate fi explicată dacă majoritatea stelelor vizibile se găsesc într-o singură configurație în formă de disc, un exemplu de ceea ce numim galaxie spirală. Numai cîteva zeci de ani mai tîrziu, astronomul

Sir William Herschel a confirmat ideea catalogînd minuțios pozițiile și distanțele unui mare număr de stele. Chiar așa, ideea a fost complet acceptată abia la începutul acestui secol.

Imaginea modernă a universului datează doar din 1924, cînd astronomul american Edwin Hubble a demonstrat că galaxia noastră nu era singura. De fapt existau multe altele, cu întinderi vaste de spațiu gol între ele. Pentru a dovedi aceasta, a trebuit să determine distanțele pînă la celelalte galaxii, care sînt atît de îndepărtate încît, spre deosebire de stelele apropiate, ele apar fixe. Prin urmare, Hubble a fost silit să utilizeze metode indirecte pentru măsurarea distanțelor. Acum, strălucirea aparentă a unei stele depinde de doi factori: de cît de multă lumină radiază (luminozitatea sa) și de cît este de departe de noi. Pentru stelele apropiate, putem măsura strălucirea lor aparentă și distanța pînă la ele, astfel că putem afla luminozitatea lor. Invers, dacă știm luminozitatea stelelor din alte galaxii, putem afla distanța la care se află măsurînd strălucirea lor aparentă. Hubble a observat că atunci cînd sînt destul de aproape de noi ca să le măsurăm, anumite tipuri de stele au întotdeauna aceeași luminozitate, prin urmare, a argumentat el, dacă găsim stele de acest fel în altă galaxie, putem presupune că ele au aceeași luminozitate — și astfel putem calcula distanța pînă la acea galaxie. Dacă putem face acest lucru pentru mai multe stele din aceeași galaxie și calculele noastre dau mereu aceeași distanță, putem fi destul de siguri de estimarea noastră.

În acest fel, Edwin Hubble a aflat distanțele pînă la nouă galaxii diferite. Știm acum că galaxia noastră este numai una din cîteva sute de miliarde care se pot vedea cu telescoapele moderne, fiecare galaxie conținînd cîteva sute de miliarde de stele. Figura 3.1 prezintă o imagine a unei galaxii spirale văzută din profil, similară cu felul în care credem că trebuie să arate galaxia noastră pentru cineva care trăiește în

altă galaxie. Noi trăim într-o galaxie care are aproape o sută de mii de ani lumină diametru și care se rotește lent; stelele din brațele sale spirale se învîrtesc în jurul centrului său o dată la fiecare cîteva sute de milioane de ani. Soarele nostru este doar o stea galbenă, obișnuită, de dimensiune medie, aflată lîngă marginea interioară a uneia dintre brațele spirale. Am parcurs desigur un drum lung de la Aristotel și Ptolemeu cînd credeam că pămîntul era centrul universului!

Stelele sînt atît de îndepărtate încît ne apar doar ca puncte de lumină. Nu putem vedea dimensiunea sau forma lor. Atunci, cum putem împărți stelele în diferite tipuri? Pentru marea majoritate a stelelor există doar o trăsătură caracteristică pe care o putem observa —



FIGURA 3.1

culoarea luminii lor. Newton a descoperit că dacă lumina soarelui trece printr-o bucată de sticlă de formă triunghiulară, numită prismă, ea se descompune în culorile sale componente (spectrul său) ca într-un curcubeu. Focalizînd un telescop pe stea sau pe o galaxie, se poate observa în mod asemănător spectrul luminii acelei stele sau galaxii. Stele diferite au spectre diferite, dar strălucirea relativă a diferitelor culori este întotdeauna exact ceea ce ar fi de așteptat să se găsească în lumina emisă de un obiect incandescent. De fapt, lumina emisă de un obiect incandescent are un spectru caracteristic care depinde numai de temperatura sa — un spectru termic. Aceasta înseamnă că putem spune care este temperatura unei stele din spectrul luminii sale. Mai mult, descoperim că anumite culori foarte specifice lipsesc din spectrele stelelor și aceste culori lipsă pot varia de la o stea la alta. Deoarece știm că fiecare element chimic absoarbe un set caracteristic de culori foarte specifice, comparîndu-le cu acelea care lipsesc din spectrul unei stele, putem determina exact ce elemente există în atmosfera stelei.

În anii ’20, cînd astronomii au început să privească spectrele stelelor din alte galaxii, au descoperit ceva deosebit: erau aceleași seturi caracteristice de culori lipsă ca și la stelele din galaxia noastră, dar toate erau deplasate spre capătul roșu al spectrului cu aceeași cantitate relativă. Pentru a înțelege implicațiile acestui fapt, trebuie să înțelegem mai întîi efectul Doppler. Așa cum am văzut, lumina vizibilă constă din fluctuații, sau unde, în cîmpul electromagnetic. Frecvența (sau numărul de unde pe secundă) luminii este extrem de înaltă, variind de la patru la șapte sute de milioane de milioane de unde pe secundă. Diferitele frecvențe ale luminii reprezintă ceea ce ochiul uman vede ca diferite culori, frecvențele cele mai joase apărînd la capătul roșu al spectrului și frecvențele cele mai înalte la capătul albastru. Să ne imaginăm acum o sursă de lumină aflată la distanță constantă de noi, cum este o stea, care emite unde de lumină cu frecvență constantă. Evident,

frecvența undelor pe care le recepționăm va fi aceeași cu frecvența la care sînt emise (cîmpul gravitațional al galaxiei nu ar fi suficient de mare pentru a avea un efect semnificativ). Să presupunem acum că sursa începe să se miște spre noi. Cînd sursa emite următorul maxim al undei ea va fi mai aproape de noi astfel încît timpul necesar maximului undei să ajungă la noi este mai mic și prin urmare numărul de unde pe care-l recepționăm în fiecare secundă (adică frecvența) este mai mare decît atunci cînd steaua era staționară. În mod corespunzător, dacă sursa se depărtează de noi, frecvența undelor pe care le recepționăm va fi mai mică. Prin urmare, în cazul luminii, aceasta înseamnă că stelele care se depărtează de noi vor avea spectrul deplasat spre capătul roșu al spectrului (deplasare spre roșu) și acelea care se mișcă spre noi vor avea spectrul deplasat spre albastru. Această relație între frecvență și viteză, care se numește efectul Doppler, reprezintă o experiență de fiecare zi. Ascultați o mașină care trece pe stradă: atunci cînd mașina se apropie motorul său are sunetul mai ascuțit (corespunzător unei frecvențe mai înalte a undelor sonore) și atunci cînd trece și se îndepărtează, sunetul său este mai grav. Comportarea undelor de lumină sau radio este similară. Într-adevăr, poliția utilizează efectul Doppler pentru a măsura viteza mașinilor măsurînd frecvența impulsurilor undelor radio reflectate de acestea.

După ce a dovedit existența altor galaxii, în anii care au urmat, Hubble și-a petrecut timpul catalogînd distanțele la care se află și observînd spectrele lor. În acea vreme majoritatea oamenilor se așteptau ca galaxiile să se miște de jur împrejur la întîmplare, și deci se așteptau să găsească tot atît de multe spectre deplasate către albastru ca și cele deplasate spre roșu. Prin urmare, a fost destul de surprinzătoare descoperirea că majoritatea galaxiilor apăreau deplasate spre roșu: aproape toate se depărtau de noi! Și mai surprinzătoare a fost descoperirea pe care Hubble a publicat-o

în 1929: nici mărimea deplasării spre roșu a unei galaxii nu este întîmplătoare, ci este direct proporțională cu distanța galaxiei față de noi. Sau, cu alte cuvinte, cu cît este mai îndepărtată de galaxie, cu atît se depărtează mai repede! Și aceasta însemna că universul nu poate fi static, așa cum credeau toți înainte, ci de fapt este în expansiune; distanța dintre diferitele galaxii crește neîncetat.

Descoperirea expansiunii universului a fost una din marile revoluții intelectuale ale secolului douăzeci. Acum este ușor să te miri de ce nu s-a gîndit nimeni la ea mai înainte. Newton și alții ar fi trebuit să realizeze că un univers static ar începe curînd să se contracte sub influența gravitației. Totuși, dacă expansiunea s-ar face mai repede decît cu o anumită valoare critică, gravitația nu ar fi niciodată suficient de puternică să o oprească și universul ar continua să se extindă pentru totdeauna. Cam așa se întîmplă cînd se lansează o rachetă în sus de pe suprafața pămîntului. Dacă ea are o viteză destul de scăzută, gravitația va opri în cele din urmă racheta și ea va începe să cadă. Pe de altă parte, dacă racheta are o viteză mai mare decît o valoare critică (unsprezece km pe secundă) gravitația nu va fi suficient de puternică s-o tragă înapoi, astfel că ea se va depărta de pămînt pentru totdeauna. Această comportare a universului ar fi putut fi prezisă de teoria gravitației a lui Newton în orice moment al secolelor nouăsprezece, optsprezece sau chiar la sfîrșitul secolului șaptesprezece. Totuși, credința într-un univers static era atît de puternică încît a persistat pînă la începutul secolului douăzeci. Chiar Einstein, cînd a formulat teoria generală a relativității în 1915, era atît de sigur că universul trebuia să fie static încît și-a modificat teoria ca să facă acest lucru posibil, introducînd în ecuațiile sale o așa-numită constantă cosmologică. Einstein a introdus o nouă forță „antigravitațională“ care, spre deosebire de alte forțe, nu provenea dintr-o anumită sursă ci era încorporată în structura spațiu-tim-

pului. El pretindea că spațiu-timpul are o tendință de expansiune încorporată și aceasta poate fi făcută să echilibreze exact atracția întregii materii din univers, astfel încît ar rezulta un univers static. Se pare că numai un singur om a fost dispus să ia drept bună relativitatea generalizată și, în timp ce Einstein și alți fizicieni căutau modalități de evitare a predicției unui univers nestatic, fizicianul și, matematicianul rus Alexander Friedmann s-a apucat s-o explice.

Friedmann a emis două ipoteze foarte simple despre univers: că universul arată identic în orice direcție privim și că acest lucru ar fi adevărat și dacă am observa universul din altă parte. Numai din aceste două idei, Friedmann a arătat că nu trebuie să ne așteptăm ca universul să fie static. De fapt, în 1922, cu cîțiva ani înainte de descoperirea lui Edwin Hubble, Friedmann a prezis exact ce a descoperit Hubble!

În mod clar ipoteza că universul arată la fel în orice direcție nu este în realitate adevărată. De exemplu, așa cum am văzut, celelalte stele din galaxie formează o bandă distinctă de lumină pe cerul nopții, numită Calea Lactee. Dar dacă privim galaxiile îndepărtate, pare să fie mai mult sau mai puțin același număr de galaxii. Astfel, universul pare să fie aproximativ același în orice direcție, cu condiția să fie văzut la scară mare în comparație cu distanța dintre galaxii și să fie ignorate diferențele la scară mică. Pentru multă vreme, aceasta a fost o justificare suficientă pentru ipoteza lui Friedmann — ca o aproximație grosieră a universului real. Dar mai recent un accident fericit a pus în evidență faptul că ipoteza lui Friedmann este de fapt o descriere remarcabil de precisă a universului nostru.

În 1965 doi fizicieni americani de la Bell Telephone Laboratories din New Jersey, Arno Penzias și Robert Wilson, testau un detector foarte sensibil la microunde. (Microundele sînt exact ca undele de lumină, dar cu o frecvență de ordinul a numai zece miliarde de unde pe secundă.) Penzias și Wilson au fost îngrijorați cînd

au descoperit că detectorul lor capta mai mult zgomot decît ar fi trebuit. Zgomotul nu părea să vină dintr-o anumită direcție. Mai întîi au descoperit dejecții de păsări în detectorul lor și au verificat și alte posibile defecte în funcționare, dar curînd acestea au fost eliminate. Ei știau că orice zgomot din atmosferă era mai puternic atunci cînd detectorul nu era îndreptat în sus decît în cazul cînd era, deoarece razele de lumină parcurg o distanță mai mare în atmosferă cînd sînt recepționate din apropierea orizontului decît atunci cînd sînt recepționate direct de sus. Zgomotul suplimentar era același indiferent de direcția în care era îndreptat detectorul, astfel că el trebuia să provină din afara atmosferei. De asemenea, el era același ziua și noaptea, în tot timpul anului, chiar dacă pămîntul se rotea în jurul axei sale și se mișca pe orbită în jurul soarelui. Aceasta a arătat că radiația trebuie să vină de dincolo de sistemul solar și chiar de dincolo de galaxie, deoarece altfel ar fi variat atunci cînd mișcarea pămîntului îndrepta detectorul în direcții diferite. De fapt, știm că radiația trebuie să fi călătorit spre noi prin cea mai mare parte a universului observabil, și deoarece pare a fi aceeași în diferite direcții, universul trebuie să fie, de asemenea, același în orice direcție, cel puțin la scară mare. Știm acum că în orice direcție privim, acest zgomot nu variază niciodată cu mai mult de unu la zece mii — astfel că Penzias și Wilson au nimerit fără să-și dea seama peste o confirmare remarcabil de precisă a primei ipoteze a lui Friedmann.

Aproximativ în același timp doi fizicieni americani de la Universitatea Princeton, Bob Dicke și Jim Peebles, erau interesați de microunde. Ei lucrau la o ipoteză, emisă de George Gamow (fost student al lui Alexander Friedmann), că universul timpuriu trebuie să fi fost fierbinte și dens, incandescent. Dicke și Peebles au argumentat că ar trebui să putem vedea încă strălucirea universului timpuriu, deoarece lumina unor părți foarte îndepărtate ale sale ar ajunge la noi abia acum. Totuși,

expansiunea universului însemna că această lumină trebuia să fie atît de mult deplasată spre roșu încît ea ne-ar apărea ca radiație de microunde. Dicke și Peebles se pregăteau să caute această radiație atunci cînd Penzias și Wilson au auzit despre activitatea lor și au realizat că ei o găsiseră deja. Pentru aceasta, Penzias și Wilson au primit premiul Nobel în 1978 (ceea ce nu le-a prea convenit lui Dicke și Peebles, ca să nu mai vorbim de Gamow!).

Acum, la prima vedere, această dovadă că universul arată același indiferent în ce direcție privim ar părea să sugereze că există ceva special în ceea ce privește locul nostru în univers. Mai ales, ar părea că dacă observăm că toate celelalte galaxii se depărtează de noi, atunci noi trebuie să fim în centrul universului. Există, totuși, o altă explicație; universul poate să arate la fel în orice direcție și văzut din oricare altă galaxie. Aceasta, așa cum am văzut, a fost a doua ipoteză a lui Friedmann. Nu avem o dovadă științifică pentru sau împotriva acestei ipoteze. O credem datorită modestiei: ar fi fost cu totul extraordinar dacă universul ar fi arătat același în orice direcție în jurul nostru, și nu în jurul altor puncte din univers! În modelul lui Friedmann, toate galaxiile se depărtează una de alta. Situația se prezintă ca un balon cu mai multe pete pictate pe el care este umflat în mod constant. Cînd balonul se umflă, distanța dintre oricare două pete crește, dar nu există o pată care să poată fi considerată centrul expansiunii. Mai mult, cu cît distanța dintre pete este mai mare, cu atît mai repede se vor îndepărta una de alta. În mod asemănător, în modelul lui Friedmann viteza cu care se îndepărtează două galaxii este proporțională cu distanța dintre ele. Astfel, el a prezis că deplasarea spre roșu a unei galaxii trebuie să fie direct proporțională cu distanța la care se găsește față de noi, exact cum a descoperit Hubble. În ciuda succesului modelului său și prezicerii observațiilor lui Hubble, lucrarea lui Friedmann a rămas necunoscută în vest pînă

cînd fizicianul american Arthur Walker a descoperit modele similare în 1935, ca răspuns la descoperirea lui Hubble a expansiunii uniforme a universului.

Deși Friedmann nu a găsit decît unul, există, de fapt, trei tipuri diferite de modele care ascultă de cele două ipoteze fundamentale ale lui Friedmann. În primul tip (pe care l-a găsit Friedmann) universul se extinde suficient de încet încît atracția gravitațională dintre diferitele galaxii să provoace încetinirea și în cele din urmă oprirea expansiunii. Atunci galaxiile încep să se miște una spre cealaltă și universul se contractă. Figura 3.2 arată modul în care se modifică cu timpul distanța dintre două galaxii învecinate. Ea pornește de la zero, crește la o valoare maximă și apoi descrește din nou la zero. În al doilea tip de soluție, expansiunea universului este atît de rapidă încît atracția gravitațională nu poate s-o oprească deși o încetinește puțin. Figura 3.3 prezintă distanța dintre galaxiile învecinate, în acest model. Ea pornește de la zero și în cele din urmă galaxiile se îndepărtează cu viteză constantă. În sfîrșit, există o a treia soluție, în care expansiunea universului este exact atît de rapidă încît să evite colapsul. În acest caz, distanța, prezentată în figura 3.4, pornește, de asemenea, de la zero și crește mereu. Totuși, viteza cu care se îndepărtează galaxiile devine din ce în ce mai mică, deși ea nu ajunge niciodată la zero.

O caracteristică remarcabilă a primului tip al modelului lui Friedmann este că în el universul nu este infinit în spațiu, dar totodată spațiul nu are limite. Gravitația este atît de puternică încît spațiul este curbat în el însuși, făcîndu-l asemănător cu suprafața pămîntului. Dacă cineva călătorește într-o anumită direcție pe suprafața pămîntului, niciodată nu ajunge la o barieră de netrecut sau nu cade peste margine, ci în cele din urmă se întoarce de unde a plecat. În primul model al lui Friedmann, spațiul este la fel ca acesta, dar cu trei dimensiuni în loc de cele două de pe suprafața pămîntului. Cea de-a patra dimensiune, timpul, este de asemenea

finită, dar este ca o linie cu două capete sau limite, un început și un sfîrșit. Vom vedea mai tîrziu că atunci cînd se combină relativitatea generalizată cu principiul de incertitudine din mecanica cuantică, este posibil ca atît spațiul cît și timpul să fie finite fără margini sau limite.

Ideea că cineva poate călători în jurul universului și termina călătoria acolo unde a început-o este bună pentru literatura științifico-fantastică dar nu are mare semnificație practică, deoarece se poate arăta că universul ar suferi un colaps către dimensiunea zero înainte ca cineva să-l străbată de jur împrejur. Ar trebui să vă deplasați mai repede decît lumina pentru a încheia călătoria acolo unde ați început-o înainte ca universul să ajungă la un sfîrșit — și acest lucru nu este permis!

În primul tip al modelului lui Friedmann, în care suferă expansiunea și colapsul, spațiul este curbat în el însuși, ca suprafața pămîntului. Prin urmare are o întindere finită. În al doilea tip de model, în care expansiunea este eternă, spațiul este curbat altfel, ca suprafața unei șei. Astfel, în acest caz spațiul este infinit. În sfîrșit, în al treilea tip al modelului lui Friedmann, în care are exact rata critică de expansiune, spațiul este plat (și deci este de asemenea infinit).

Dar care model al lui Friedmann descrie universul nostru? Își va opri universul în cele din urmă expansiunea și va începe să se contracte sau se va extinde pentru totdeauna? Pentru a răspunde la această întrebare trebuie să cunoaștem rata actuală de expansiune a universului și densitatea sa medie actuală. Dacă densitatea este mai mică decît o anumită valoare critică, determinată de rata de expansiune, atracția gravitațională va fi prea slabă pentru a opri expansiunea. Dacă densitatea este mai mare decît valoarea critică, gravitația va opri expansiunea la un anumit moment în viitor și va determina colapsul universului.

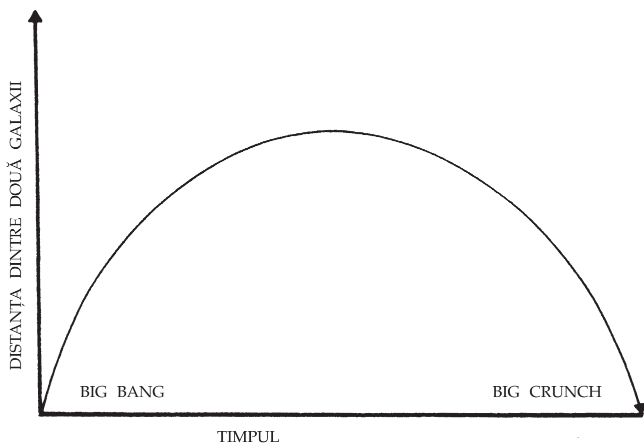


FIGURA 3.2

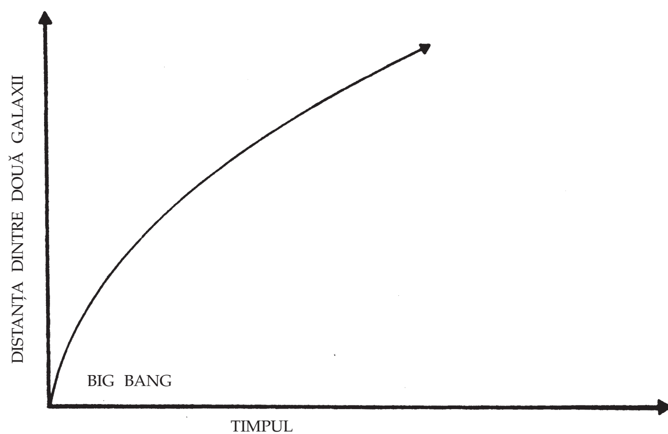


FIGURA 3.3

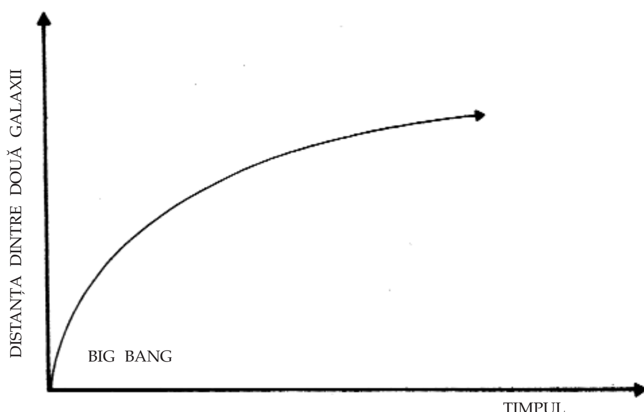


FIGURA 3.4

Putem determina rata actuală de expansiune măsurînd vitezele cu care celelalte galaxii se depărtează de noi, utilizînd efectul Doppler. Aceasta se poate face foarte precis. Totuși, distanțele pînă la galaxii nu sînt foarte bine cunoscute, deoarece nu le putem măsura decît indirect. Astfel, tot ceea ce știm este că universul se extinde cu o valoare între 5 și 10% la fiecare miliard de ani. Totuși, incertitudinea asupra densității medii actuale prezente a universului este și mai mare. Dacă adunăm masele tuturor stelelor pe care le putem vedea din galaxia noastră și alte galaxii, totalul este mai mic decît o sutime din cantitatea necesară pentru a opri expansiunea universului, chiar pentru estimarea cea mai scăzută a ratei de expansiune. Totuși, galaxia noastră și alte galaxii trebuie să conțină o mare cantitate de „materie neagră" pe care nu o putem vedea direct, dar despre care știm că trebuie să fie acolo datorită influenței atracției sale gravitaționale asupra orbitelor stelelor din galaxie. Mai mult, majoritatea galaxiilor formează roiuri și putem deduce în mod asemănător prezența unei cantități mai mari de materie neagră între

galaxiile din aceste roiuri prin efectul său asupra mișcării galaxiilor. Atunci cînd adunăm toată această materie neagră, obținem doar circa o zecime din cantitatea necesară pentru a opri expansiunea. Totuși, nu putem exclude posibilitatea că ar putea exista o altă formă a materiei, distribuită aproape uniform în univers, pe care nu am detectat-o încă și care poate mări densitatea medie a universului pînă la valoarea critică necesară pentru a opri expansiunea. Prin urmare, dovezile actuale sugerează că universul se va extinde probabil la nesfîrșit dar nu putem fi siguri decît de faptul că și în cazul în care se va produce colapsul universului, aceasta nu se va întîmpla cel puțin încă alte zece miliarde de ani, deoarece universul s-a extins deja cel puțin pe această durată. Acest lucru nu trebuie să ne îngrijoreze nejustificat; la acel moment, dacă nu am făcut colonii dincolo de sistemul solar, omenirea va fi murit de mult, stinsă o dată cu soarele nostru!

Toate soluțiile lui Friedmann au caracteristic faptul că la un anumit moment în trecut (acum zece–douăzeci miliarde de ani) distanța dintre galaxiile învecinate trebuie să fi fost zero. În acel moment, pe care noi îl numim Big Bang, densitatea universului și curbura spațiu-timpului ar fi fost infinite. Deoarece matematica nu poate trata realmente cu numere infinite, aceasta înseamnă că teoria generală a relativității (pe care se bazează soluțiile lui Friedmann) prezice că există un punct în univers unde teoria însăși nu mai funcționează. Un astfel de punct este un exemplu de ceea ce matematicienii numesc o singularitate. De fapt, toate teoriile noastre științifice sînt bazate pe ipoteza că spațiu-timpul este neted și aproape plat, astfel că ele nu funcționează la singularitatea Big Bang-ului, unde curbura spațiului este infinită. Aceasta înseamnă că și dacă ar fi existat evenimente înainte de Big Bang, ele nu ar putea fi utilizate pentru a determina ce s-ar fi întîmplat după aceea, deoarece capacitatea de predicție ar fi încetat la Big Bang. În mod asemănător, dacă — așa

cum este cazul — cunoaștem numai ceea ce s-a întîmplat de la Big Bang, nu am putea să determinăm ce s-a întîmplat înainte. În ceea ce ne privește, evenimentele dinainte de Big Bang nu pot avea consecințe, astfel că ele nu trebuie să formeze o parte a unui model științific al universului. Prin urmare trebuie să le eliminăm din model și să spunem că timpul are un început la Big Bang.

Multă lume nu agreează ideea că timpul are un început, probabil deoarece aduce a intervenție divină. (Biserica Catolică, pe de altă parte, a pus mîna pe modelul Big Bang și în 1951 a declarat oficial că este în conformitate cu Biblia.) Prin urmare, au fost mai multe încercări de evitare a concluziei că a existat un Big Bang. Propunerea care a cîștigat sprijinul cel mai larg s-a numit teoria stării staționare. Ea a fost sugerată în 1948 de doi refugiați din Austria ocupată de naziști, Hermann Bondi și Thomas Gold, împreună cu un englez, Fred Hoyle, care a lucrat cu ei la perfecționarea radarului în timpul războiului. Ideea era că atunci cînd galaxiile se depărtează una de alta, în golurile dintre ele se formează continuu noi galaxii. Deci universul ar arăta aproximativ la fel tot timpul, cît și în toate punctele din spațiu. Teoria stării staționare cerea o modificare a relativității generalizate pentru a permite crearea continuă de materie, dar rata implicată era atît de mică (de circa o particulă pe kilometru cub pe an) încît nu era în conflict cu experimentul. Teoria era o teorie științifică bună, în sensul descris în capitolul 1; ea era simplă și făcea preziceri clare care puteau fi testate prin observații. Una dintre aceste preziceri era că numărul de galaxii sau obiecte similare în orice volum dat al spațiului trebuie să fie același oriunde sau oricînd privim în univers. La sfîrșitul anilor '50 și începutul anilor '60, un grup de astronomi condus de Martin Ryle (care a lucrat și cu Bondi, Gold și Hoyle la radar în timpul războiului), la Cambridge, a efectuat o cercetare a surselor de unde radio din spațiul

cosmic. Grupul de la Cambridge a arătat că majoritatea surselor radio trebuie să se găsească în afara galaxiei noastre (într-adevăr, multe din ele pot fi identificate cu alte galaxii) și că existau mai multe surse slabe decît cele puternice. Ei au interpretat sursele slabe ca fiind cele mai îndepărtate și pe cele mai puternice ca fiind mai apropiate. Apoi păreau să fie mai puține surse obișnuite pe unitatea de volum al spațiului pentru sursele apropiate decît pentru cele îndepărtate. Aceasta ar putea însemna că noi sîntem în centrul unei mari regiuni din univers în care sursele sînt mai puține decît în altă parte. O altă interpretare presupune că sursele au fost mai numeroase în trecut, în momentul în care undele radio le-au părăsit pornind spre noi, decît sînt acum. Ambele explicații contraziceau predicțiile teoriei stării staționare. Mai mult, descoperirea radiației de microunde făcută de Penzias și Wilson în 1965 a indicat, de asemenea, că universul trebuie să fi fost mult mai dens în trecut. Prin urmare, teoria stării staționare a trebuit să fie abandonată.

O altă încercare de a evita concluzia că trebuie să fi existat un Big Bang, și deci un început al timpului, a fost făcută de doi oameni de știință ruși, Evgheni Lifshitz și Isaac Khalatnikov, în 1963. Ei sugerau că Big Bang-ul putea fi o particularitate doar a modelelor lui Friedmann, care la urma urmelor erau numai aproximații ale universului real. Poate că, din toate modelele care erau aproximativ ca universul real, numai cel al lui Friedmann ar conține o singularitate Big Bang. În modelele lui Friedmann, toate galaxiile se depărtează direct una de cealaltă — astfel, nu este surprinzător că la un anumit moment din trecut toate se găseau în același loc. În universul real, totuși, galaxiile nu se îndepărtează direct una de alta — ele au de asemenea mici viteze transversale. Astfel, în realitate nu a fost nevoie să fie toate exact în același loc, ci numai foarte aproape una de alta. Poate că atunci universul actual în expansiune a rezultat nu dintr-o singularitate Big Bang ci

dintr-o fază anterioară de contracție; cînd s-a produs colapsul universului se putea ca nu toate particulele să se ciocnească, ci au trecut una pe lîngă alta și apoi s-au îndepărtat, producînd expansiunea actuală a universului. Atunci cum putem spune dacă universul real a început cu un Big Bang? Ceea ce au făcut Lifshitz și Khalatnikov a fost să studieze modele ale universului care erau aproximativ ca modelele lui Friedmann dar luau în considerație neregularitățile și vitezele întîmplătoare ale galaxiilor din universul real. Ei au arătat că astfel de modele pot începe cu un Big Bang, chiar dacă galaxiile nu se mai îndepărtează întotdeauna direct una de alta, dar susțineau că acest lucru ar fi posibil numai în anumite modele excepționale în care galaxiile se mișcau toate în linie dreaptă.

Ei argumentau că deoarece păreau să existe infinit mai multe modele tip Friedmann fără o singularitate Big Bang decît cele care aveau una, trebuie să conchidem că în realitate nu a fost un Big Bang. Ulterior ei au realizat, totuși, că există o clasă mult mai generală de modele tip Friedmann care aveau singularități și în care galaxiile nu trebuiau să se miște într-un fel special. De aceea, în 1970, și-au retras propunerea.

Lucrarea lui Lifshitz și Khalatnikov a fost valoroasă deoarece a arătat că universul ar fi putut avea o singularitate, un Big Bang, dacă teoria generală a relativității era corectă. Totuși, ea nu a rezolvat problema crucială: Relativitatea generalizată prezice că universul nostru *ar fi trebuit* să aibă un Big Bang, un început al timpului? Răspunsul a venit dintr-o abordare complet diferită introdusă de un matematician și fizician britanic, Roger Penrose, în 1965. Utilizînd modul în care conurile de lumină se comportă în relativitatea generalizată împreună cu faptul că gravitația este întotdeauna o forță de atracție, el a arătat că o stea care suferă un colaps datorită propriei gravitații este prinsă într-o regiune a cărei suprafață se reduce la dimensiunea zero. Și deoarece suprafața regiunii se reduce la zero, așa trebuie

să se întîmple și cu volumul său. Toată materia din stea va fi comprimată într-o regiune cu volum zero, astfel că densitatea materiei și curbura spațiu-timpului devin infinite. Cu alte cuvinte, există o singularitate conținută într-o regiune a spațiu-timpului numită gaură neagră.

La prima vedere, rezultatul lui Penrose se aplica numai stelelor; el nu avea nimic de spus despre întrebarea dacă întregul univers a avut o singularitate Big Bang în trecutul său. Totuși, în vremea în care Penrose și-a elaborat teorema, eu lucram în cercetare ca student și căutam cu disperare o problemă pentru a-mi elabora teza de doctorat. Cu doi ani înainte mi se pusese diagnosticul de ALS, cunoscut în mod obișnuit ca boala lui Lou Gehrig, sau boala neuro-motorie și mi se dăduse de înțeles că mai am numai unul sau doi ani de trăit. În aceste împrejurări, lucrul la teza de doctorat nu părea de mare importanță — nu mă așteptam să supraviețuiesc atît de mult. Și totuși trecuseră doi ani și nu eram mult mai rău. De fapt, lucrurile mergeau mai bine pentru mine și mă logodisem cu o fată foarte drăguță, Jane Wilde. Dar pentru a mă căsători, aveam nevoie de un serviciu, aveam nevoie de un doctorat.

În 1965 am citit despre teorema lui Penrose care arăta că orice corp care suferea un colaps gravitațional trebuie să formeze în cele din urmă o singularitate. Am realizat curînd că dacă în teorema lui Penrose se inversează direcția timpului astfel încît colapsul să devină o expansiune, condițiile teoremei sale ar fi încă valabile, cu condiția ca în momentul actual universul să fie aproximativ ca un model Friedmann la scară mare. Teorema lui Penrose a arătat că orice stea care suferă un colaps trebuie să sfîrșească într-o singularitate; argumentul timpului inversat a arătat că orice univers în expansiune tip Friedmann trebuie să înceapă cu o singularitate. Din motive tehnice, teorema lui Penrose cerea ca universul să fie infinit în spațiu. Astfel, am putut de fapt să o utilizez pentru a dovedi că trebuie

să fie o singularitate numai dacă universul se extindea destul de repede pentru a evita colapsul din nou (deoarece numai acele modele Friedmann erau infinite în spațiu).

În următorii cîțiva ani am elaborat noi tehnici matematice pentru a elimina aceasta și alte condiții tehnice din teoremele care dovedeau că singularitățile trebuie să se producă. Rezultatul final a fost o lucrare în colaborare a lui Penrose și a mea în 1970, care a demonstrat în cele din urmă că ar fi trebuit să existe un Big Bang numai dacă relativitatea generalizată era corectă și universul conține atîta materie cîtă observăm. Au existat mai multe critici la această lucrare, pe de o parte din partea rușilor, din cauza credinței lor marxiste în determinismul științific și pe de altă parte din partea unor oameni care simțeau că întreaga idee a singularităților era respingătoare și strica frumusețea teoriei lui Einstein. Totuși, în realitate nu se poate pune la îndoială o teoremă matematică. Astfel că în cele din urmă lucrarea noastră a fost general acceptată și astăzi aproape toată lumea consideră că universul a început cu o singularitate Big Bang. Poate că este o ironie că, schimbîndu-mi părerea, acum încerc să conving alți fizicieni că de fapt la începutul universului nu a existat o singularitate — așa cum vom vedea mai tîrziu, ea poate dispărea o dată ce sînt luate în considerare efectele cuantice.

În acest capitol am văzut cum s-a transformat, în mai puțin de jumătate de secol, imaginea omului despre univers, formată în milenii. Descoperirea lui Hubble că universul era în expansiune și realizarea lipsei de importanță a propriei noastre planete în vastitatea universului au fost doar punctul de plecare. Pe măsură ce s-au adunat dovezi experimentale și teoretice, a devenit din ce în ce mai clar că universul trebuie să fi avut un început în timp, pînă ce în 1970 acest lucru a fost dovedit de Penrose împreună cu mine, pe baza teoriei generale a relativității a lui Einstein. Demon-

strația a arătat că relativitatea generalizată este doar o teorie incompletă: ea nu ne poate spune cum a început universul, deoarece ea prezice că toate teoriile fizice, inclusiv ea însăși, nu mai funcționează la începutul universului. Totuși, relativitatea generalizată pretinde a fi numai o teorie parțială, astfel că ceea ce arată în realitate teoremele singularităților este că trebuie să fi fost un timp în universul foarte timpuriu cînd universul era atît de mic, încît nu se mai pot ignora efectele la scară mică ale celeilalte mari teorii parțiale a secolului douăzeci, mecanica cuantică. La începutul anilor 1970, deci, eram forțați să ne îndreptăm cercetările pentru înțelegerea universului de la teoria noastră asupra infinitului mare la teoria noastră asupra infinitului mic. Acea teorie, mecanica cuantică, va fi descrisă în cele ce urmează, înainte de a ne îndrepta eforturile către combinarea celor două teorii parțiale într-o singură teorie cuantică a gravitației.

4
Principiul de incertitudine

Succesul teoriilor științifice, în special al teoriei gravitației a lui Newton, a condus pe savantul francez marchizul de Laplace, la începutul secolului al nouăsprezecelea, să considere că universul era complet determinist. Laplace a sugerat că ar trebui să existe un set de legi științifice care ne-ar permite să prezicem orice s-ar întîmpla în univers, numai dacă am cunoaște starea completă a universului la un moment dat. De exemplu, dacă știm pozițiile și vitezele soarelui și planetelor la un anumit moment, atunci putem utiliza legile lui Newton pentru a calcula starea Sistemului Solar în oricare alt moment. Determinismul pare destul de evident în acest caz, dar Laplace a mers și mai departe presupunînd că existau legi similare care guvernează orice altceva, inclusiv comportamentul uman.

Doctrina determinismului științific a fost respinsă de mulți oameni care simțeau că aceasta încalcă libertatea lui Dumnezeu de a interveni asupra lumii, dar ea a rămas ipoteza clasică a științei pînă în primii ani ai acestui secol. Una din primele indicații că această ipoteză ar trebui abandonată a apărut atunci cînd calculele savanților britanici Lord Rayleigh și Sir James Jeans au sugerat că un obiect fierbinte, sau un corp, cum ar fi o stea, trebuie să radieze energie în cantitate infinită. Conform legilor în care credeam în acea vreme, un corp fierbinte trebuia să emită unde electromagnetice (cum sînt undele radio, lumina vizibilă sau razele X) în mod egal, la toate frecvențele. De exemplu,

un corp fierbinte ar trebui să radieze aceeași cantitate de energie în unde cu frecvențele între unu și două milioane de milioane de unde pe secundă, ca și în unde cu frecvențe între două și trei milioane de milioane de unde pe secundă. Dar, deoarece numărul de unde pe secundă este nelimitat, aceasta ar însemna că energia totală radiată ar fi infinită.

Pentru a evita acest rezultat evident ridicol, savantul german Max Planck a sugerat, în 1900, că lumina, razele X și alte unde nu pot fi emise într-o cantitate arbitrară, ci numai în anumite pachete pe care le-a numit cuante. Mai mult, fiecare cuantă are o anumită cantitate de energie care este cu atît mai mare cu cît este mai mare frecvența undelor, astfel că la o frecvență destul de înaltă, emisia unei singure cuante ar cere mai multă energie decît era disponibilă. Astfel, radiația la frecvențe înalte ar fi redusă, și deci cantitatea de energie radiată de corp ar fi finită.

Ipoteza cuantică a explicat foarte bine valoarea observată a emisiei radiației corpurilor fierbinți, dar implicațiile sale pentru determinism nu au fost înțelese pînă în 1926, cînd un alt savant german, Werner Heisenberg, a formulat faimosul său principiu de incertitudine. Pentru a prezice poziția și viteza viitoare ale unei particule, trebuie să i se poată măsura precis poziția și viteza actuale. Calea evidentă pentru a face acest lucru era să se trimită lumină pe particulă. Unele dintre undele de lumină vor fi împrăștiate de particulă și aceasta va indica poziția sa. Totuși, poziția particulei nu se va putea determina mai precis decît distanța dintre maximele undei de lumină, astfel că pentru a măsura precis poziția particulei, este necesar să se utilizeze lumină cu lungime de undă mică. Dar, conform ipotezei cuantice a lui Planck, nu se poate utiliza o cantitate arbitrar de mică de lumină; trebuie să se utilizeze cel puțin o cuantă. Această cuantă va perturba particula și-i va modifica viteza într-un mod care nu poate fi prezis. Mai mult, cu cît se măsoară mai precis pozi-

ția, cu atît este mai scurtă lungimea de undă a luminii necesare și deci cu atît este mai mare energia unei singure cuante. Astfel, viteza particulei va fi perturbată cu o cantitate mai mare. Cu alte cuvinte, cu cît încercați să măsurați mai precis poziția particulei, cu atît mai puțin precis îi puteți măsura viteza și viceversa. Heisenberg a arătat că incertitudinea poziției particulei înmulțită cu incertitudinea vitezei sale înmulțită cu masa particulei nu poate fi niciodată mai mică decît o anumită cantitate numită constanta lui Planck. Mai mult, această limită nu depinde de modul în care se încearcă măsurarea poziției sau vitezei particulei, sau de tipul particulei: principiul de incertitudine al lui Heisenberg este o proprietate fundamentală, inevitabilă a lumii.

Principiul de incertitudine a avut implicații profunde pentru modul în care vedem lumea. Chiar după mai mult de cincizeci de ani ele nu au fost complet înțelese de mulți filozofi și sînt încă subiectul multor controverse. Principiul de incertitudine a semnalat sfîrșitul visului lui Laplace despre o teorie a științei, un model al universului care ar fi complet determinist: desigur, nu se pot prezice precis evenimente viitoare dacă nu se poate măsura precis starea actuală a universului! Ne putem încă imagina că există un set de legi care determină complet evenimentele pentru unele ființe supranaturale, care ar putea observa starea actuală a universului fără să o perturbe. Totuși, astfel de modele ale universului nu prea ne interesează pe noi, muritorii obișnuiți. Se pare că este mai bine să se utilizeze principiul economiei cunoscut drept briciul lui Occam, și să se elimine toate aspectele teoriei care nu pot fi observate. Această abordare i-a condus pe Heisenberg, Erwin Schrödinger și Paul Dirac în anii 1920 să reformuleze mecanica într-o nouă teorie numită mecanica cuantică, bazată pe principiul de incertitudine. În această teorie, particulele nu mai aveau viteze și poziții separate, bine definite, care nu ar putea fi obser-

vate. În schimb, ele aveau o stare cuantică, care era o combinație a poziției și vitezei.

În general, mecanica cuantică nu prezice un singur rezultat clar pentru o observație. În schimb, ea prezice mai multe rezultate diferite posibile și ne spune cît de probabil este fiecare dintre ele. Aceasta înseamnă că, dacă cineva face aceeași măsurare pe un număr mare de sisteme similare, fiecare începînd în același fel, ar vedea că rezultatul măsurării ar fi A într-un anumit număr de cazuri, B în alt număr de cazuri ș.a.m.d. S-ar putea prezice numărul corespunzător de ori în care rezultatul ar fi A sau B, dar nu s-ar putea prezice rezultatul specific al unei singure măsurări. Prin urmare, mecanica cuantică introduce în știință un element inevitabil de imprevizibilitate sau întîmplare. Einstein a obiectat foarte puternic la aceasta, în ciuda rolului important pe care l-a jucat în dezvoltarea acestor idei. Einstein a primit premiul Nobel pentru contribuția sa la teoria cuantică. Cu toate acestea, Einstein nu a acceptat niciodată ideea că universul era guvernat de întîmplare; sentimentele sale au fost exprimate în faimoasa sa afirmație „Dumnezeu nu joacă zaruri". Totuși, majoritatea celorlalți savanți erau dispuși să accepte mecanica cuantică deoarece era în perfectă concordanță cu experimentul. Într-adevăr, a fost o teorie remarcabil de reușită și ea stă la baza aproape a întregii științe și tehnologii moderne. Ea guvernează comportarea tranzistorilor și circuitelor integrate care sînt componentele esențiale ale unor aparate electronice cum sînt televizoarele și computerele și reprezintă, de asemenea, baza chimiei și biologiei moderne. Singurele domenii din fizică în care mecanica cuantică nu a fost încorporată sînt gravitația și structura la scară mare a universului.

Deși lumina este formată din unde, ipoteza cuantică a lui Planck ne spune că în unele cazuri ea se comportă ca și cînd ar fi compusă din particule: ea poate fi emisă sau absorbită numai în pachete sau cuante.

De asemenea, principiul de incertitudine al lui Heisenberg implică faptul că particulele se comportă în anumite privințe ca niște unde: ele nu au o poziție definită dar sînt „răspîndite“ cu o anumită probabilitate de distribuție. Teoria mecanicii cuantice se bazează pe un tip de matematică complet nou, care nu mai descrie lumea reală în termeni de particule și unde; ea reprezintă numai observații ale lumii care pot fi descrise prin acești termeni. Există astfel în mecanica cuantică un dualism între unde și particule: pentru unele scopuri este util să se considere particulele drept unde și pentru alte scopuri este mai bine să se considere undele drept particule. O consecință importantă a acestui fapt este că se poate observa ceea ce se numește interferența dintre două seturi de unde sau particule. Cu alte cuvinte, maximele unui set de unde pot coincide cu minimele celuilalt set. Atunci cele două seturi de unde se anulează reciproc, în loc să se adune într-o undă mai puternică, așa cum ar fi de așteptat (fig. 4.1). Un exemplu familiar de interferență în cazul luminii îl reprezintă culorile care se văd adesea în baloanele de săpun. Acestea sînt cauzate de reflexia luminii pe cele două fețe ale peliculei subțiri de apă care formează balonul. Lumina albă constă din unde cu lungimi de undă diferite sau culori diferite. Pentru anumite lungimi de undă maximele undelor reflectate pe o parte a peliculei de săpun coincid cu minimele reflectate pe cealaltă parte. Culorile care corespund acestor lungimi de undă lipsesc din lumina reflectată, care apare deci colorată.

Interferența se poate produce și pentru particule datorită dualismului introdus de mecanica cuantică. Un exemplu faimos este experimentul celor două fante (fig. 4.2). Considerăm un perete despărțitor care are două fante înguste tăiate în el. Pe de o parte a peretelui se plasează o sursă de lumină cu o anumită culoare (adică, cu o anumită lungime de undă). Majoritatea luminii va lovi peretele, dar o cantitate mică va trece prin fante. Presupunem acum că de partea cealaltă a

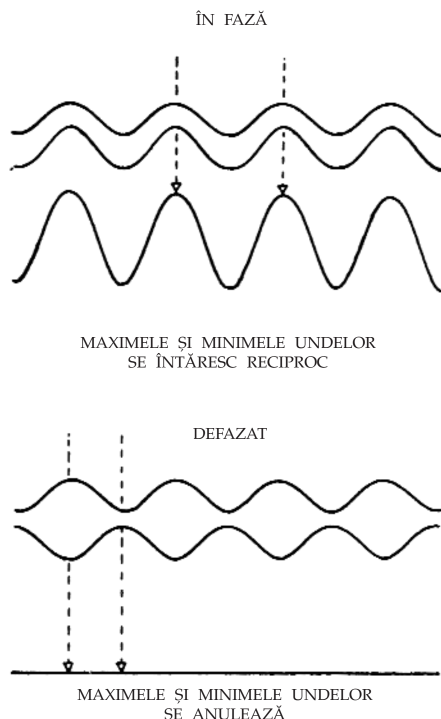


FIGURA 4.1

peretelui despărțitor, cea opusă luminii, se plasează un ecran. Orice punct de pe ecran va primi unde de la cele două fante. Totuși, în general, distanța pe care trebuie să o parcurgă lumina de la sursă la ecran prin cele două fante va fi diferită. Aceasta va însemna că undele care vin de la cele două fante nu vor fi în fază atunci cînd ajung la ecran: în unele locuri undele se vor anula reciproc și în altele se vor întări reciproc. Rezultatul este un model caracteristic de franje de lumină și întuneric.

Un lucru remarcabil este că se obține exact același fel de franje dacă se înlocuiește sursa de lumină cu o sursă de particule cum sînt electronii cu o viteză determinată (aceasta înseamnă că undele corespunzătoare au o lungime determinată). Acest lucru pare și mai ciudat pentru că dacă există numai o fantă, pe ecran nu se obțin franje, ci doar o distribuție uniformă de electroni. Se poate crede deci că deschiderea unei alte fante ar mări numărul de electroni care lovesc fiecare punct de pe ecran, dar în realitate, în unele locuri din cauza interferenței numărul electronilor descrește. Dacă electronii sînt trimiși prin fante unul cîte unul,

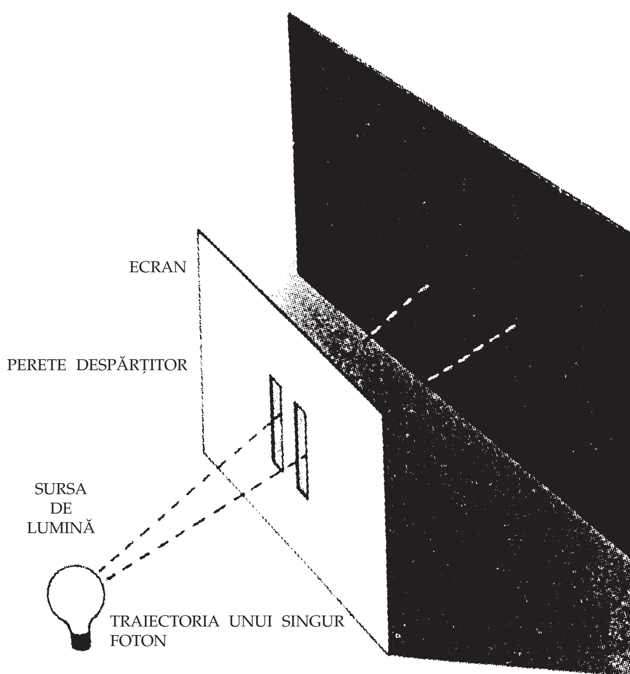


FIGURA 4.2

ar fi de așteptat ca fiecare să treacă printr-o fantă sau alta și deci să se comporte exact ca și cînd fanta prin care trec ar fi singura acolo — dînd o distribuție uniformă pe ecran. În realitate însă, chiar dacă electronii sînt trimiși unul cîte unul, franjele tot apar. Prin urmare, fiecare electron trebuie să treacă prin ambele fante în același timp!

Fenomenul de interferență între particule a fost crucial pentru înțelegerea structurii atomilor, unitățile de bază în chimie și biologie și cărămizile din care sîntem făcuți noi și tot ce este în jurul nostru. La începutul acestui secol se credea că atomii erau ca planetele care se deplasează pe orbite în jurul soarelui, cu electronii (particule de electricitate negativă) mișcîndu-se pe orbite în jurul unui nucleu central, care posedă electricitate pozitivă. Se presupunea că atracția dintre electricitatea pozitivă și cea negativă ține electronii pe orbitele lor în același fel în care atracția gravitațională dintre soare și planete ține planetele pe orbitele lor. Problema existentă aici era că, înainte de mecanica cuantică, legile mecanicii și electricității preziceau că electronii ar pierde energie și deci s-ar deplasa pe o spirală din ce în ce mai mică pînă ce s-ar ciocni cu nucleul. Aceasta ar însemna că atomul, și deci toată materia, trebuie să sufere rapid un colaps către o stare cu densitate foarte mare. O soluție parțială a acestei probleme a fost găsită de savantul danez Niels Bohr în 1913. El a sugerat că poate electronii nu se pot deplasa pe orbite la orice distanță de nucleul central, ci numai la anumite distanțe specificate. Dacă se mai presupune că pe oricare din aceste orbite se pot mișca numai unul sau doi electroni, aceasta ar rezolva problema colapsului atomului, deoarece electronii nu s-ar putea mișca în spirală mai mult decît pentru a umple orbitele cu distanțele și energiile cele mai mici.

Acest model a explicat destul de bine structura celui mai simplu atom, hidrogenul, care are numai un singur electron ce se mișcă pe orbită în jurul nucleu-

lui. Dar nu era clar cum ar trebui să fie extins la atomi mai complicați. În plus, ideea unui set limitat de orbite permise părea foarte arbitrară. Noua teorie a mecanicii cuantice a rezolvat această dificultate. Ea a arătat că un electron care se mișcă pe orbită în jurul nucleului poate fi considerat ca o undă, cu o lungime de undă care depinde de viteza sa. Pentru anumite orbite, lungimea orbitei ar corespunde unui număr întreg (în opoziție cu un număr fracționar) de lungimi de undă ale electronului. Pentru aceste orbite maximul undei ar fi în aceeași poziție de fiecare dată cînd și face o rotație completă, astfel că undele s-ar aduna: aceste orbite ar corespunde orbitelor permise ale lui Bohr. Totuși, pentru orbitele a căror lungime nu reprezintă un număr întreg de lungimi de undă, fiecare maxim al undei ar fi anulat în cele din urmă de un minim atunci cînd se face o rotație; aceste orbite nu ar fi permise.

Un mod agreabil de vizualizare a dualismului undă/particulă este așa-numita sumă a istoriilor introdusă de savantul american Richard Feynman. În această abordare se presupune că particula nu are o singură istorie sau traiectorie în spațiu-timp așa cum ar fi într-o teorie clasică, necuantică. În schimb, se presupune că trece de la A la B prin fiecare traiectorie posibilă. Fiecărei traiectorii îi sînt asociate două numere: unul reprezintă dimensiunea undei și celălalt reprezintă poziția în ciclu (adică, dacă este un maxim sau un minim). Probabilitatea de trecere de la A la B se găsește adunînd undele pentru toate traiectoriile. În general, dacă se compară un set de traiectorii învecinate, fazele sau pozițiile în ciclu vor diferi considerabil. Aceasta înseamnă că undele asociate acestor traiectorii se vor anula aproape exact una pe alta. Totuși, pentru unele seturi de traiectorii învecinate faza nu va varia mult de la o traiectorie la alta. Pentru aceste traiectorii undele nu se vor anula. Aceste traiectorii corespund orbitelor permise ale lui Bohr.

Cu aceste idei, în formă matematică concretă, a fost relativ simplu să se calculeze orbitele permise în atomii mai complicați și chiar în molecule, care sînt formate din mai mulți atomi menținuți împreună de electronii care se mișcă în jurul mai multor nuclee. Deoarece structura moleculelor și reacțiile lor reciproce stau la baza chimiei și biologiei, mecanica cuantică ne permite, în principiu, să prezicem aproape tot ce vedem în jurul nostru, în limitele determinate de principiul de incertitudine. (În practică, însă, calculele necesare pentru sisteme cu mai mult de cîțiva electroni sînt atît de complicate încît nu le putem efectua.)

Teoria generală a relativității a lui Einstein pare să guverneze structura la scară mare a universului. Ea este ceea ce se numește o teorie clasică; adică ea nu ia în considerare principiul de incertitudine din mecanica cuantică, așa cum ar trebui pentru a fi compatibilă cu alte teorii. Aceasta nu conduce la discrepanțe cu observația, deoarece toate cîmpurile gravitaționale pe care le simțim sînt foarte slabe. Totuși, teoremele singularităților discutate anterior arată că există cel puțin două situații în care cîmpul gravitațional trebuie să fie foarte puternic: găurile negre și Big Bang-ul. În aceste cîmpuri puternice, efectele mecanicii cuantice trebuie să fie importante. Astfel, într-un fel, relativitatea generalizată clasică, prezicînd puncte cu densitate infinită, prezice propria sa dispariție, la fel cum mecanica clasică (adică necuantică) și-a prezis dispariția sugerînd că atomii trebuie să sufere un colaps spre o densitate infinită. Nu avem încă o teorie completă, solidă care să unifice relativitatea generalizată și mecanica cuantică, dar cunoaștem mai multe caracteristici pe care trebuie să le aibă. Consecințele pe care acestea le-ar avea asupra găurilor negre și Big Bang-ului vor fi descrise în capitolele următoare. Pentru moment, totuși, ne vom întoarce la încercările recente de a reuni cunoștințele noastre asupra celorlalte forțe ale naturii într-o singură teorie cuantică unificată.

5
Particulele elementare și forțele naturii

Aristotel credea că toată materia din univers era formată din patru elemente de bază: pămînt, aer, foc și apă. Asupra acestor elemente acționau două forțe: gravitația, tendința pămîntului și apei de a cădea și levitația, tendința aerului și focului de a se înălța. Divizarea conținutului universului în materie și forțe se mai utilizează și astăzi.

Aristotel credea că materia era continuă, adică, o bucată de materie se poate diviza în bucăți din ce în ce mai mici fără limită: niciodată nu se poate ajunge la un grăunte de materie care să nu mai poată fi divizat. Totuși, cîțiva greci, ca Democrit, susțineau că materia era în mod firesc granulară și că totul era format dintr-un număr mare de atomi de diferite tipuri. (Cuvîntul *atom* înseamnă în grecește „indivizibil".) Secole întregi discuția a continuat fără o dovadă reală de-o parte sau de alta, dar în 1803 chimistul și fizicianul britanic John Dalton a explicat combinarea compușilor chimici întotdeauna în anumite proporții prin gruparea atomilor în unități numite molecule. Totuși, discuția între cele două școli nu s-a rezolvat în favoarea atomiștilor pînă în primii ani ai acestui secol. Una dintre dovezile fizice importante a fost furnizată de Einstein. Într-o lucrare scrisă în 1905, cu cîteva săptămîni înainte de faimoasa lucrare asupra relativității speciale, Einstein a arătat că ceea ce se numea mișcarea browniană — mișcarea neregulată, întîmplătoare a unor particule mici de praf

suspendate într-un lichid — se putea explica prin efectul ciocnirilor atomilor de lichid cu particulele de praf.

În acel moment existau deja suspiciuni că acești atomi nu ar fi, totuși, indivizibili. Cu cîțiva ani înainte, un membru al Trinity College, Cambridge, J. J. Thomson, demonstrase existența unei particule de materie numită electron, care avea o masă mai mică decît o miime din masa atomului cel mai ușor. El a utilizat o instalație asemănătoare cu un tub modern de televizor: un filament incandescent emitea electroni și deoarece aceștia au o sarcină electrică negativă, se poate utiliza un cîmp electric pentru a-i accelera către un ecran acoperit cu fosfor. Atunci cînd ei loveau ecranul, apăreau scînteieri. Curînd s-a realizat că acești electroni trebuie să provină din atomi și în cele din urmă, în 1911, fizicianul britanic Ernest Rutherford a arătat că, într-adevăr, atomii de materie au o structură internă: ei sînt formați dintr-un nucleu extrem de mic, încărcat pozitiv, în jurul căruia se mișcă pe orbită mai mulți electroni. El a dedus aceasta din analiza modului în care sînt deviate particulele α, care sînt particule încărcate pozitiv, emise de atomi radioactivi, atunci cînd se ciocnesc cu atomii.

La început s-a considerat că nucleul atomului era format din electroni și mai multe particule încărcate pozitiv, numite protoni, de la cuvîntul grec care însemna „primul", deoarece se credea că este unitatea fundamentală din care era făcută materia. Totuși, în 1932, un coleg al lui Rutherford de la Cambridge, James Chadwick, a descoperit că nucleul conținea o altă particulă, numită neutron, care avea aproape aceeași masă ca și protonul, dar nu avea sarcină electrică. Chadwick a primit premiul Nobel pentru descoperirea sa și a fost ales profesor la Gonville and Caius College, Cambridge (colegiul în care eu fac parte acum din comitetul de conducere). Mai tîrziu el și-a dat demisia din postul de profesor datorită neînțelegerilor

cu colegii săi. Au fost discuții aprinse în colegiu de cînd un grup de membri tineri care s-au întors după război au votat scoaterea membrilor mai în vîrstă din funcții pe care le dețineau de mult timp în colegiu. Aceasta a fost înainte de a veni eu; eu am venit la colegiu în 1965, la sfîrșitul discuțiilor, cînd dezacorduri similare l-au forțat să demisioneze pe un alt profesor deținător al premiului Nobel, Sir Nevill Mott.

Pînă acum circa douăzeci de ani s-a crezut că protonii și neutronii erau particulele „elementare", dar experimentele în care protonii se ciocneau cu alți protoni sau electroni cu viteză mare arătau că ei erau formați, de fapt, din particule mai mici. Aceste particule au fost numite quarci de Murray Gell-Mann, fizician la Institutul Tehnologic din California, care a cîștigat premiul Nobel în 1969 pentru lucrările sale asupra acestora. (Originea numelui este un citat enigmatic din James Joyce: *„Three quarks for Muster Mark!"*. Se presupune că cuvîntul *quark* se pronunța ca și *quart* dar cu un k la sfîrșit în loc de t, pronunțîndu-se de obicei astfel încît să rimeze cu *lark*.)

Există mai multe varietăți de quarci: se crede că există cel puține șase „arome" pe care le numim sus (*up*), jos (*down*), straniu (*strange*), fermecat (*charmed*), bază (*bottom*) și vîrf (*top*). Fiecare aromă apare în trei „culori": roșu, verde și albastru. (Trebuie subliniat că acești termeni sînt doar denumiri: quarcii sînt mult mai mici decît lungimea de undă a luminii vizibile și deci ei nu au o culoare în sensul propriu al cuvîntului. Rezultă că fizicienii moderni par să aibă moduri mai imaginative de numire a noilor particule și fenomene — ele nu se mai limitează la limba greacă!) Un proton sau un neutron este format din trei quarci, cîte unul din fiecare culoare. Un proton constă din doi quarci sus și un quarc jos; un neutron conține doi jos și unul sus. Putem crea particule făcute din ceilalți quarci (straniu, fermecat, bază și vîrf), dar toate acestea au o masă mult mai mare și se dezintegrează foarte rapid în protoni și neutroni.

Știm acum că nici atomii, nici protonii și neutronii din atomi nu sînt indivizibili. Astfel, problema este: Care sînt adevăratele particule elementare, cărămizile de bază din care este făcut totul? Deoarece lungimea de undă a luminii este mult mai mare decît dimensiunea unui atom, nu putem spera să „privim" în mod obișnuit părțile unui atom. Avem nevoie să utilizăm ceva cu o lungime de undă mult mai mică. Așa cum am văzut în capitolul anterior, mecanica cuantică ne spune că toate particulele sînt de fapt unde și că, cu cît este mai mare energia particulei, cu atît este mai mică lungimea de undă a undei corespunzătoare. Astfel, răspunsul cel mai bun pe care îl putem da întrebării noastre depinde de cît de mare este energia disponibilă a particulei; deoarece aceasta determină cît de mică este scara la care putem privi. Energiile particulelor se măsoară de obicei în unități numite electron-volți. (În experimentele cu electroni, am văzut că Thomson a utilizat pentru accelerarea electronilor un cîmp electric. Energia pe care o cîștigă un electron de la un cîmp electric de un volt este ceea ce numim electron-volt.) În secolul al nouăsprezecelea, cînd singurele energii ale particulelor pe care oamenii știau să le folosească erau energiile joase de cîțiva electron-volți generate de reacții chimice cum este arderea, se credea că atomii erau unitățile cele mai mici. În experimentul lui Rutherford, particulele α aveau energii de milioane de electron-volți. Mai recent, am învățat cum să utilizăm cîmpurile electromagnetice pentru a da particulelor energii la început de milioane și apoi de miliarde de electron-volți. Și astfel știm că particulele care erau considerate „elementare" acum douăzeci de ani sînt formate, de fapt, din particule mai mici. Se poate ca, pe măsură ce mergem spre energii mai înalte să găsim că acestea sînt formate din particule și mai mici? Desigur, acest lucru este posibil, dar avem unele motive teoretice să credem că știm, sau sîntem foarte aproape de a cunoaște, ultimele cărămizi ale naturii.

Utilizînd dualismul undă/particulă discutat în capitolul anterior, totul în univers, inclusiv lumina și gravitația, se poate descrie în funcție de particule. Aceste particule au o proprietate numită spin. Un mod de a considera spinul este de a imagina particulele ca niște mici titirezi care se rotesc în jurul unei axe. Totuși, aceasta poate conduce la o înțelegere greșită, deoarece mecanica cuantică ne spune că particulele nu au o axă bine determinată. Ceea ce ne spune în realitate spinul unei particule este cum arată particula din diferite direcții. O particulă de spin 0 este ca un punct: ea arată la fel din diferite direcții (fig. 5.1-i). Pe de altă parte, o particulă de spin 1 este ca o săgeată: ea arată diferit din direcții diferite (fig. 5.1-ii). Particula arată la fel numai dacă se efectuează o rotație completă (360 grade). O particulă de spin 2 este ca o săgeată dublă (fig. 5.1-iii): ea arată la fel dacă se efectuează o jumătate de rotație (180 grade). Asemănător, particulele de spin mai mare arată la fel dacă se rotesc cu fracțiuni mai mici dintr-o rotație completă. Toate acestea par destul de simple, dar este remarcabil că există particule care nu arată la fel dacă se efectuează doar o rotație completă: trebuie să se efectueze două rotații complete! Particulele de acest fel au spin 1/2.

Toate particulele cunoscute din univers pot fi împărțite în două grupe: particule cu spin 1/2, care formează materia universului și particule de spin 0,1 și 2 care, așa cum vom vedea, dau naștere forțelor din particulele materiei. Particulele de materie ascultă de ceea ce se numește principiul de excluziune al lui Pauli. Acesta a fost descoperit în 1925 de un fizician austriac, Wolfgang Pauli — care a primit premiul Nobel în 1945. El era prototipul de fizician teoretician: se spunea despre el că numai prezența sa într-un oraș strica experiențele! Principiul de excluziune al lui Pauli spune că două particule similare nu pot exista în aceeași stare, adică ele nu pot avea aceeași poziție și aceeași viteză, în limitele date de principiul de incer-

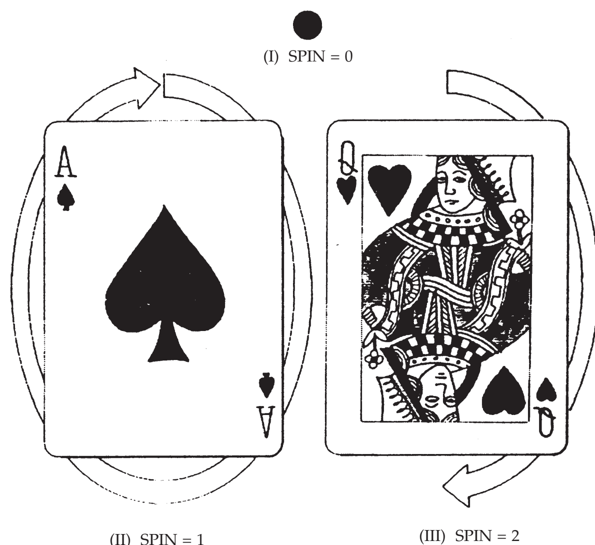


FIGURA 5.1

titudine. Principiul de excluziune este crucial deoarece el explică de ce particulele de materie nu suferă un colaps spre o stare cu densitatea foarte mare sub influența forțelor produse de particulele de spin 0, 1 și 2: dacă particulele de materie au aproape aceleași poziții, ele trebuie să aibă viteze diferite, ceea ce înseamnă că ele nu vor sta multă vreme în aceeași poziție. Dacă lumea ar fi fost creată fără principiul de excluziune, quarcii nu ar forma protoni și neutroni separați, bine definiți. Și nici aceștia nu ar putea forma, împreună cu electronii, atomi bine definiți. Ei toți ar suferi un colaps formînd o „supă" densă, aproape uniformă.

O înțelegere corectă a electronului și a altor particule cu spin 1/2 nu a avut loc pînă în 1928 cînd a fost propusă o nouă teorie de către Paul Dirac, care a fost ales mai tîrziu profesor de matematică la Cambridge (aceeași funcție pe care a avut-o Newton și pe

care o am eu acum). Teoria lui Dirac a fost prima de acest fel care era în acord atît cu mecanica cuantică, cît și cu teoria specială a relativității. Ea explica matematic de ce electronul are spinul 1/2, adică de ce nu arată la fel atunci cînd efectuează o rotație completă, dar arată la fel dacă efectuează două rotații. Ea a prezis, de asemenea, că electronul trebuie să aibă un partener: un antielectron sau pozitron. Descoperirea pozitronului în 1932 a confirmat teoria lui Dirac și a făcut ca acesta să primească premiul Nobel pentru fizică în 1933. Știm acum că fiecare particulă are o antiparticulă cu care poate fi anihilată. (În cazul particulelor purtătoare de forță, antiparticulele sînt aceleași ca particulele însele.) Ar putea exista lumi întregi și oameni făcuți din antiparticule. Totuși, dacă vă întîlniți cu antipersoana dumneavoastră, nu dați mîna! Ați dispărea amîndoi într-o mare străfulgerare de lumină. Faptul că în jurul nostru par să existe atît de multe particule față de antiparticule este extrem de important și am să mă întorc la el mai tîrziu în acest capitol.

În mecanica cuantică se presupune că forțele sau interacțiunile între particulele de materie sînt purtate de particule cu spin întreg — 0, 1 sau 2. O particulă de materie, cum este un electron sau un quarc emite o particulă purtătoare de forță. Reculul datorat acestei emisii modifică viteza particulei de materie. Apoi particula purtătoare de forță se ciocnește cu altă particulă de materie și este absorbită. Această ciocnire modifică viteza celei de-a doua particule, exact ca și cînd ar fi existat o interacție între cele două particule de materie.

O proprietate importantă a particulelor purtătoare de forță este că ele nu ascultă de principiul de excluziune. Aceasta înseamnă că numărul particulelor care pot fi schimbate este nelimitat și astfel ele pot da naștere unei interacții tari. Totuși, dacă particulele purtătoare de forță au o masă mare, va fi dificil să fie produse și schimbate pe o distanță mare. Astfel că forțele pe care le poartă vor avea numai o rază scurtă de

acțiune. Pe de altă parte, dacă particulele care poartă forța nu au masă proprie, forțele vor fi de rază lungă. Se spune că particulele purtătoare de forță schimbate între particulele de materie sînt particule virtuale deoarece, spre deosebire de particulele „reale", ele nu pot fi detectate direct de un detector de particule. Totuși, știm că ele există deoarece au un efect măsurabil: ele dau naștere interacțiilor dintre particulele de materie. De asemenea, particulele de spin 0, 1 sau 2 există ca particule reale, în anumite condiții, cînd ele pot fi detectate direct. Atunci, ele ne apar sub forma a ceea ce un fizician clasic ar numi unde, cum sînt undele luminoase sau undele gravitaționale. Ele pot fi emise uneori atunci cînd particulele de materie interacționează una cu alta prin schimb de particule virtuale purtătoare de forță. (De exemplu, forța de respingere electrică dintre doi electroni se datorește schimbului de fotoni virtuali, care nu pot fi niciodată detectați direct; dar, dacă un electron trece pe lîngă altul, pot fi emiși fotoni reali pe care îi detectăm sub formă de unde de lumină.)

Particulele purtătoare de forță pot fi grupate în patru categorii conform cu mărimea forței pe care o poartă și particulele cu care interacționează. Trebuie subliniat că această împărțire în patru clase este făcută de om; ea este convenabilă pentru elaborarea teoriilor parțiale, dar poate să nu corespundă pentru ceva mai profund. În cele din urmă, majoritatea fizicienilor speră să găsească o teorie unificată care va explica toate cele patru forțe ca fiind aspecte diferite ale unei singure forțe. Într-adevăr, mulți ar spune că acesta este scopul principal al fizicii contemporane. Recent, au fost făcute încercări reușite de a unifica trei din cele patru categorii de forțe — și le voi descrie în acest capitol. Problema unificării categoriei rămase, gravitația, o voi lăsa pentru mai tîrziu.

Prima categorie este forța gravitațională. Această forță este universală, adică orice particulă simte forța

de gravitație, corespunzător cu masa sau energia sa. Gravitația este de departe cea mai slabă dintre cele patru forțe; ea este atît de slabă încît nu am observa-o deloc dacă nu ar avea două proprietăți speciale: ea acționează pe distanțe mari și este întotdeauna o forță de atracție. Aceasta înseamnă că forțele gravitaționale foarte slabe dintre particulele individuale din două corpuri mari, cum sînt pămîntul și soarele, se pot aduna producînd o forță semnificativă. Celelalte trei forțe sînt ori de domeniu scurt, ori sînt uneori de atracție și uneori de respingere, astfel că ele tind să se anuleze. În modul mecanicii cuantice de a privi cîmpul gravitațional, forța dintre două particule de materie este reprezentată ca fiind purtată de o particulă cu spin 2, numită graviton. Acesta nu are masă proprie, astfel că forța pe care o poartă este de rază lungă. Forța gravitațională dintre soare și pămînt este atribuită schimbului de gravitoni între particulele care formează aceste două corpuri. Deși particulele schimbate sînt virtuale, ele produc în mod sigur un efect măsurabil — fac pămîntul să se deplaseze pe orbită în jurul soarelui! Gravitonii reali formează ceea ce fizicienii clasici ar numi unde gravitaționale, care sînt foarte slabe — și atît de greu de detectat încît nu au fost observate niciodată.

Următoarea categorie este forța electromagnetică, ce interacționează cu particule încărcate electric, cum sînt electronii și quarcii, dar nu interacționează cu particule neîncărcate, cum sînt gravitonii. Ea este mult mai puternică decît forța gravitațională: forța electromagnetică dintre doi electroni este de circa un milion de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane (1 cu patruzeci și două de zerouri după el) de ori mai mare decît forța gravitațională. Totuși, există două feluri de sarcini electrice, pozitive și negative. Forța dintre două sarcini pozitive este o forță de respingere, la fel ca forța dintre două sarcini negative, dar între o sarcină pozitivă și una negativă

există o forță de atracție. Un corp mare, cum este pămîntul sau soarele, conține sarcini pozitive și negative în numere aproape egale. Astfel forțele de atracție și de respingere dintre particulele individuale aproape se anulează reciproc și forța electromagnetică existentă este foarte mică. Însă la scara mică a atomilor și moleculelor, forțele electromagnetice sînt dominante. Atracția electromagnetică dintre electronii încărcați negativ și protonii încărcați pozitiv din nucleu determină mișcarea pe orbită a electronilor în jurul nucleului atomului, la fel cum atracția gravitațională determină mișcarea pămîntului pe orbită în jurul soarelui. Atracția electromagnetică este imaginată ca fiind produsă prin schimbul unui număr mare de particule virtuale, fără masă, cu spin 1, numite fotoni. Și aici, fotonii care sînt schimbați sînt particule virtuale. Totuși, atunci cînd un electron trece de la o orbită permisă la alta mai apropiată de nucleu, se eliberează energie și se emite un foton real — care poate fi observat de ochiul uman ca lumină vizibilă, dacă are lungimea de undă corespunzătoare, sau de un detector de fotoni, cum este filmul fotografic. La fel, dacă un foton real se ciocnește cu un atom, el poate deplasa un electron de pe o orbită mai apropiată de nucleu pe una mai îndepărtată. Aceasta utilizează energia fotonului, astfel că el este absorbit.

A treia categorie se numește interacție nucleară slabă, care este responsabilă pentru radioactivitate și care acționează asupra tuturor particulelor de materie cu spin 1/2, dar nu acționează asupra particulelor cu spin 0, 1 sau 2, cum sînt fotonii și gravitonii. Interacția nucleară slabă nu a fost bine înțeleasă pînă în 1967, cînd Abdus Salam de la Imperial College, Londra, și Steve Weinberg de la Harvard au propus teorii care unificau această interacție cu forța electromagnetică, la fel cum Maxwell a unificat electricitatea și magnetismul cu o sută de ani mai înainte. Ei sugerau că în afară de foton mai există alte trei particule cu spin 1, numite colectiv bozoni vectori masivi care purtau interacția

slabă. Aceștia au fost numiți W^+ (pronunțat W plus), W^- (pronunțat W minus) și Z^0 (pronunțat Z zero) și fiecare are o masă de circa 100 GeV (GeV înseamnă gigaelectron-volt sau un miliard de electron-volți). Teoria Weinberg-Salam prezintă o proprietate numită distrugerea spontană a simetriei. Aceasta înseamnă că ceea ce par a fi mai multe particule complet diferite la energii joase sînt de fapt același tip de particule, dar în stări diferite. La energii înalte, toate aceste particule se comportă asemănător. Efectul este asemănător comportării unei bile pe roata unei rulete. La energii înalte (cînd roata se învîrtește repede) bila se comportă într-un singur fel — ea se rotește de jur împrejur. Dar cînd roata își încetinește mișcarea, energia bilei scade și în cele din urmă bila cade într-una din cele 37 despărțituri ale roții. Cu alte cuvinte, la energii joase există treizeci și șapte de stări diferite în care se poate găsi bila. Dacă, pentru un motiv oarecare, noi am putea observa bila numai la energii joase, am crede că există treizeci și șapte de tipuri diferite de bile!

În teoria Weinberg-Salam, la energii mult mai mari de 100 GeV, cele trei particule noi și fotonul s-ar comporta în mod asemănător. Dar la energii mai joase ale particulelor care apar în majoritatea situațiilor normale, această simetrie între particule va fi distrusă. W^+, W^- și Z^0 ar căpăta mase mari, făcînd ca forțele pe care le poartă să aibă un domeniu foarte scurt. În momentul în care Salam și Weinberg și-au propus teoria, puține persoane îi credeau, iar acceleratoarele de particule nu erau suficient de puternice pentru a atinge energiile de 100 GeV necesare pentru producerea particulelor reale W^+, W^- sau Z^0. Totuși, în următorii aproximativ zece ani celelalte preziceri ale teoriei la energii joase concordau destul de bine cu experimentul astfel că, în 1979, Salam și Weinberg primeau premiul Nobel pentru fizică, împreună cu Sheldon Glashow, tot de la Harvard, care sugerase teorii unificate similare ale interacțiilor nucleare slabe și forțelor electromagnetice. Comitetul

Nobel a fost scutit de neplăcerea de a fi făcut o greșeală datorită descoperirii în 1983 la CERN (Centrul European de Cercetări Nucleare) a celor trei parteneri masivi ai fotonului, cu masele și alte proprietăți prezise corect. Carlo Rubia, care a condus echipa de cîteva sute de fizicieni care a făcut descoperirea, a primit premiul Nobel în 1984, împreună cu Simon van der Meer, inginerul de la CERN care a elaborat sistemul utilizat pentru stocarea antimateriei. (Este foarte greu să te faci remarcat astăzi în fizica experimentală dacă nu ești deja în vîrf!)

Cea de-a patra categorie o reprezintă interacția nucleară tare, care ține quarcii împreună în proton și neutron și ține protonii și neutronii împreună în nucleul atomului. Se crede că această interacție este purtată de altă particulă cu spin 1, numită gluon, care interacționează numai cu ea însăși și cu quarcii. Interacția nucleară tare are o proprietate numită restricție: ea leagă întotdeauna particulele într-o combinație care nu are culoare. Nu poate exista un singur quarc independent deoarece el ar trebui să aibă o culoare (roșu, verde sau albastru). În schimb, un quarc roșu trebuie să se unească cu un quarc verde și unul albastru printr-un „șir" de gluoni (roșu + verde + albastru = alb). O tripletă de acest fel constituie un proton sau un neutron. O altă posibilitate este o pereche formată dintr-un quarc și un antiquarc (roșu + antiroșu , sau verde + antiverde, sau albastru + antialbastru = alb). Astfel de combinații formează particulele numite mezoni, care sînt instabile deoarece un quarc și un antiquarc se pot anihila reciproc, producînd electroni și alte particule. Asemănător, restricția împiedică existența independentă a unui singur gluon deoarece gluonii sînt colorați. În schimb, trebuie să existe o colecție de gluoni ale căror culori să se adune formînd alb. O colecție de acest fel formează o particulă numită glueball.

Faptul că restricția împiedică observarea unui quarc sau gluon izolat poate face ca noțiunea de quarc și cea

de gluon ca particule să pară metafizice. Totuși, există o altă proprietate a interacțiilor nucleare tari, numită libertate asimptotică, ce definește bine conceptul de quarc sau de gluon. La energii normale, interacția nucleară tare este într-adevăr tare și ea leagă strîns quarcii. Totuși, experimentele cu acceleratori mari de particule arată că la energii înalte interacția devine mult mai slabă și quarcii și gluonii se comportă ca particule aproape libere. Figura 5.2 prezintă o fotografie a ciocnirii dintre un antiproton și un proton cu energie înaltă. S-au produs cîțiva quarci aproape liberi și au dat naștere „jeturilor“ de urme vizibile din imagine.

Succesul unificării interacțiilor nucleare slabe și forțelor electromagnetice a condus la mai multe încercări de a combina aceste două forțe cu interacția nucleară tare în ceea ce se numește marea teorie unificată (sau MTU). Această denumire este mai degrabă o exagerare: teoriile rezultante nu sînt deloc mari, și nici nu sînt complet unificate deoarece ele nu includ gravitația. În realitate, ele nu sînt nici teorii complete, deoarece conțin mai mulți parametri ale căror valori nu pot fi prezise de teorie, ci care trebuie să fie alese astfel încît să se potrivească cu experimentul. Cu toate acestea, ele pot reprezenta un pas spre o teorie completă, pe deplin unificată. Ideea de bază a MTU este următoarea: Așa cum s-a menționat mai sus, interacțiile nucleare tari devin mai slabe la energii înalte. Pe de altă parte, forțele electromagnetice și interacțiile slabe, care nu sînt asimptotic libere, devin mai tari la energii înalte. La o energie foarte mare, numită energia marii unificări, aceste trei forțe ar avea toate aceeași tărie și deci pot reprezenta doar aspecte diferite ale unei singure forțe. MTU prezice, de asemenea, că la această energie diferite particule de materie cu spin 1/2, cum sînt quarcii și electronii, ar fi în mod esențial aceleași, realizîndu-se o altă unificare.

Valoarea energiei marii unificări nu este prea bine cunoscută, dar probabil ar trebui să fie de cel puțin



PHOTO CERN

FIGURA 5.2

Un proton și un antiproton se ciocnesc la energie înaltă, producînd o pereche de quarci aproape liberi.

un milion de milioane de GeV. Generația actuală de acceleratori de particule poate realiza ciocnirea particulelor la energii de circa o sută de GeV și mașinile sînt astfel proiectate încît s-ar putea ridica la cîteva mii de GeV. Dar o mașină care ar fi suficient de puternică pentru a accelera particule la energia marii unificări ar trebui să fie tot atît de mare ca și Sistemul Solar — și ar fi improbabil de finanțat în climatul economic actual. Astfel, teoriile marii unificări nu pot fi testate. Totuși, ca și în cazul teoriei unificate electromagnetică și slabă, la energii joase, există consecințe ale teoriei care pot fi testate.

Cea mai interesantă este prezicerea că protonii, care reprezintă mare parte din masa materiei obișnuite, se pot dezintegra spontan în particule mai ușoare, ca

antielectronii. Acest lucru este posibil deoarece la energia marii unificări nu există o diferență esențială între un quarc și un antielectron. Cei trei quarci dintr-un proton nu au în mod normal destulă energie pentru a se schimba în antielectroni, dar foarte rar unul dintre ei poate căpăta destulă energie pentru a face tranziția, deoarece principiul de incertitudine arată că energia quarcilor din interiorul protonului nu poate fi determinată exact. Atunci protonul s-ar dezintegra. Probabilitatea ca un quarc să capete energie suficientă este atît de mică încît este probabil că trebuie să se aștepte cel puțin un milion de milioane de milioane de milioane de milioane (1 urmat de treizeci de zerouri) de ani. Acesta este un timp mult mai lung decît timpul scurs de la Big Bang, care este doar de zece miliarde de ani (1 urmat de zece zerouri). Astfel, s-ar putea crede că posibilitatea de dezintegrare spontană a protonului n-ar putea fi testată experimental. Totuși, șansele de detectare a dezintegrării se pot mări dacă se observă o mare cantitate de materie care conține un număr foarte mare de protoni. (Dacă, de exemplu, s-ar observa un număr de protoni egal cu 1 urmat de treizeci și unu de zerouri timp de un an, ar fi de așteptat, conform celei mai simple MTU, să se observe mai mult decît o dezintegrare a protonului.)

Au fost realizate mai multe experimente de acest fel, dar nimeni nu a dat o dovadă clară a dezintegrării protonului sau neutronului. Unul din experimente a utilizat opt mii de tone de apă și a fost realizat în Salina Morton din Ohio (pentru a evita producerea altor evenimente cauzate de razele cosmice, care pot fi confundate cu efectele dezintegrării protonului). Deoarece în timpul experimentului nu a fost observată vreo dezintegrare spontană a protonului, se poate calcula că timpul de viață probabil al protonului trebuie să fie mai mare decît zece milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de ani (1 cu treizeci și unu de zerouri). Acesta este un timp mai lung decît durata

de viață prezisă de marea teorie unificată cea mai simplă, dar există teorii mai dezvoltate în care duratele de viață prezise sînt mai mari. Pentru a le testa vor fi necesare experimente și mai precise care utilizează cantități și mai mari de materie.

Chiar dacă este foarte greu să se observe dezintegrarea spontană a protonului, se poate întîmpla că propria noastră existență este o consecință a procesului invers, producerea protonilor sau, mai simplu, a quarcilor, dintr-o situație inițială în care nu existau mai mulți quarci decît antiquarci, care reprezintă modul cel mai natural de imaginat începutul universului. Materia de pe pămînt este formată în principal din protoni și neutroni, care la rîndul lor sînt formați din quarci. Nu există antiprotoni și antineutroni, formați din quarci, cu excepția cîtorva pe care fizicienii îi produc în marile acceleratoare de particule. Avem dovezi de la razele cosmice că același lucru este adevărat pentru toată materia din galaxia noastră: nu există antiprotoni sau antineutroni în afară de un număr mic care sînt produși ca perechi particulă/antiparticulă în ciocnirile la energii înalte. Dacă în galaxia noastră ar fi existat regiuni mari de antimaterie ne-am aștepta să observăm cantități mari de radiații de la granițele dintre regiunile de materie și antimaterie, unde multe particule s-ar fi ciocnit cu antiparticulele lor, anihilîndu-se reciproc și eliminînd radiație de energie înaltă.

Nu avem dovezi directe că materia din alte galaxii este formată din protoni și neutroni sau antiprotoni și antineutroni, dar trebuie să fie ori una ori alta: nu poate fi un amestec într-o singură galaxie deoarece atunci ar trebui să observăm, de asemenea, o mare cantitate de radiații din anihilări. Credem, deci, că toate galaxiile sînt compuse din quarci mai degrabă decît din antiquarci; pare imposibil ca unele galaxii să fie materie și altele antimaterie.

De ce trebuie să existe atît de mulți quarci față de antiquarci? De ce nu există numere egale din fiecare? Este, desigur, un noroc pentru noi că numerele sînt

inegale deoarece, dacă ele ar fi aceleași, aproape toți quarcii și antiquarcii s-ar fi anihilat reciproc la începutul universului și ar fi lăsat un univers cu radiație, dar aproape fără materie. Atunci, nu ar fi existat galaxii, stele sau planete pe care să se fi putut dezvolta viața umană. Din fericire, marile teorii unificate pot da o explicație a faptului că universul trebuie să conțină acum mai mulți quarci decît antiquarci, chiar dacă a început cu numere egale din fiecare. Așa cum am văzut, MTU permite quarcilor să se transforme în antielectroni la energie înaltă. Ea permite, de asemenea, procesele inverse, antiquarcii transformîndu-se în electroni și electronii și antielectronii transformîndu-se în antiquarci și quarci. A fost un timp în universul foarte timpuriu cînd el era atît de fierbinte încît energiile particulelor ar fi fost destul de înalte pentru ca aceste transformări să aibă loc. Dar de ce trebuie să conducă aceasta la mai mulți quarci decît antiquarci? Motivul este că legile fizicii nu sînt exact aceleași pentru particule și antiparticule.

Pînă în 1956 s-a crezut că legile fizicii ascultau de fiecare dintre cele trei simetrii separate C, P și T. Simetria C înseamnă că legile sînt aceleași pentru particule și antiparticule. Simetria P înseamnă că legile sînt aceleași pentru orice situație și imaginea sa în oglindă (imaginea în oglindă a unei particule care se rotește spre dreapta este o particulă care se rotește spre stînga). Simetria T înseamnă că dacă se inversează direcția de mișcare a tuturor particulelor și antiparticulelor, sistemul trebuie să se întoarcă la ceea ce a fost mai înainte; cu alte cuvinte, legile sînt aceleași în direcție înainte și înapoi în timp.

În 1956, doi fizicieni americani, Tsung-Dao Lee și Chen Ning Yang, sugerau că de fapt interacția slabă nu ascultă de simetria P. Cu alte cuvinte, interacția slabă ar face ca universul să se dezvolte diferit față de modul în care s-ar dezvolta imaginea sa în oglindă. În același an, o colegă, Chien-Shiung Wo, a dovedit că prezicerea lor era corectă. Ea a făcut aceasta aliniind nucleele

atomilor radioactivi într-un cîmp magnetic, astfel că toate se roteau în aceeași direcție, și a arătat că electronii erau emiși mai mult într-o direcție decît în cealaltă. În anul următor, Lee și Yang au primit premiul Nobel pentru ideea lor. S-a descoperit, de asemenea, că interacția slabă nu ascultă de simetria C. Adică, aceasta ar face ca un univers format din antiparticule să se comporte diferit de universul nostru. Cu toate acestea, părea că interacția slabă ascultă de simetria combinată CP. Adică, universul s-ar dezvolta în același fel ca și imaginea sa în oglindă dacă, în plus, fiecare particulă ar fi înlocuită cu antiparticula sa! Totuși, în 1964, încă doi americani, J. W. Cronin și Val Fitch au descoperit că dezintegrarea anumitor particule numite mezoni K nu ascultă de simetria CP. Cronin și Fitch au primit în cele din urmă premiul Nobel pentru lucrarea lor, în 1980. (Au fost acordate multe premii pentru a arăta că universul nu este atît de simplu cum am fi putut crede!)

Există o teoremă matematică, ce spune că orice teorie care ascultă de mecanica cuantică și de teoria relativității trebuie să asculte întotdeauna de simetria combinată CPT. Cu alte cuvinte, universul ar fi trebuit să se comporte la fel dacă se înlocuiau particulele cu antiparticulele, dacă se lua imaginea în oglindă și dacă se inversa direcția timpului. Dar Cronin și Fitch au arătat că dacă se înlocuiesc particulele cu antiparticulele și se ia imaginea în oglindă, dar nu se inversează direcția timpului, atunci universul nu se comportă la fel. Prin urmare, legile fizicii trebuie să se schimbe dacă se inversează direcția timpului — ele nu ascultă de simetria T.

În mod sigur universul timpuriu nu asculta de simetria T: pe măsură ce timpul merge înainte universul se extinde — dacă el ar curge înapoi, universul s-ar contracta. Și, deoarece există forțe care nu ascultă de simetria T, rezultă că atunci cînd universul se extinde aceste forțe pot cauza transformarea mai multor anti-

electroni în quarci, decît electroni în antiquarci. Atunci, cînd universul se extindea și se răcea, antiquarcii se anihilau cu quarcii, dar deoarece erau mai mulți quarci decît antiquarci, rămînea un mic exces de quarci. Din aceștia s-a format materia pe care o vedem azi și din care sîntem făcuți noi înșine. Astfel, chiar existența noastră ar putea fi privită ca o confirmare a marilor teorii unificate, deși numai o confirmare calitativă; există incertitudini, astfel că nu se poate prezice numărul de quarci care va rămîne după anihilare, sau chiar dacă rămîn quarci sau antiquarci. (Totuși, dacă ar fi fost exces de antiquarci, noi am fi numit pur și simplu antiquarcii quarci și quarcii antiquarci.)

Marile teorii unificate nu includ forța de gravitație. Aceasta nu are prea mare importanță, deoarece gravitația este o forță atît de slabă încît, de obicei, efectele sale pot fi neglijate cînd tratăm particulele elementare sau atomii. Totuși, faptul că are un domeniu mare de acțiune și este întotdeauna o forță de atracție înseamnă că efectele sale se adună. Astfel, pentru un număr suficient de mare de particule materiale, forțele gravitaționale pot domina toate celelalte forțe. Din această cauză gravitația determină evoluția universului. Chiar pentru obiecte de dimensiunea unor stele, forța de atracție gravitațională poate învinge celelalte forțe producînd colapsul stelei. Lucrarea mea din 1970 se referea la găurile negre care pot rezulta dintr-un astfel de colaps stelar și la cîmpurile gravitaționale intense din jurul lor. Aceasta a condus la primele indicații asupra modului în care teoria mecanicii cuantice și teoria generală a relativității se pot afecta reciproc — o scurtă privire asupra unei teorii cuantice a gravitației care urmează să apară.

6
Găurile negre

Termenul de *gaură neagră* este de origine foarte recentă. El a fost inventat în 1969 de savantul american John Wheeler ca o descriere grafică a unei idei care are o vechime de cel puțin două sute de ani, într-o vreme cînd existau două teorii asupra luminii: una, susținută de Newton, era că lumina este formată din particule; cealaltă era că lumina este formată din unde. Știm acum că ambele teorii sînt corecte. Prin dualismul undă/particulă din mecanica cuantică lumina poate fi privită atît ca undă cît și ca particulă. În cadrul teoriei care susținea că lumina este formată din unde nu era clar modul în care ea ar trebui să răspundă la gravitație. Dar dacă lumina este formată din particule, ar fi de așteptat ca acestea să fie afectate de gravitație în același fel în care sînt afectate ghiulele de tun, rachetele și planetele. La început oamenii credeau că particulele de lumină se deplasează cu viteză infinită, dar descoperirea lui Roemer că lumina se deplasează cu viteză finită a arătat că gravitația poate avea un efect important. John Michell, un membru în consiliul unui Colegiu din Cambridge, a scris, pe baza acestei ipoteze, în 1783, o lucrare în revista *Philosophical Transactions* a Societății Regale din Londra, în care a arătat că o stea care este suficient de masivă și compactă ar avea un cîmp gravitațional atît de puternic încît lumina nu poate ieși: orice lumină emisă de suprafața stelei ar fi atrasă înapoi de atracția gravitațională a stelei înainte de a putea ajunge foarte departe. Michell sugera că ar putea exista multe stele ca aceasta. Deși nu le-am

putea vedea, pentru că lumina lor nu ar ajunge la noi, totuși am putea să simțim atracția lor gravitațională. Aceste obiecte sînt numite acum găuri negre pentru că asta sînt: goluri negre în spațiu. O sugestie similară a fost făcută cîțiva ani mai tîrziu de savantul francez marchizul de Laplace, aparent independent de Michell. Este destul de interesant că Laplace a inclus-o numai în prima și a doua ediție a cărții sale *Sistemul lumii* și a scos-o din edițiile ulterioare; poate că a hotărît că era o idee aiurită. (De asemenea, teoria corpusculară a luminii nu a mai fost susținută în secolul al nouăsprezecelea; părea că totul se putea explica prin teoria ondulatorie și, conform acesteia, nu era clar dacă lumina era afectată de gravitație.)

De fapt, nu este logic ca lumina să fie tratată ca niște ghiulele în teoria gravitației a lui Newton, pentru că viteza luminii este fixă. (O ghiulea lansată în sus de la pămînt va fi încetinită de gravitație și în cele din urmă se va opri și va cădea; totuși, un foton continuă să se deplaseze în sus cu viteză constantă. Atunci, cum poate gravitația newtoniană să afecteze lumina?) O teorie consistentă privind modul în care gravitația afectează lumina nu a apărut pînă cînd Einstein n-a propus relativitatea generalizată, în 1915. Și chiar atunci a durat mult timp pînă cînd au fost înțelese implicațiile teoriei pentru stelele masive.

Pentru a înțelege modul în care se poate forma o gaură neagră, avem nevoie mai întîi de înțelegerea unui ciclu de viață a unei stele. O stea se formează atunci cînd o cantitate mare de gaz (în majoritate hidrogen) începe să sufere un colaps în sine însuși, datorită atracției sale gravitaționale. Atunci cînd ea se contractă, atomii gazului se ciocnesc între ei din ce în ce mai des și cu viteze din ce în ce mai mari — gazul se încălzește. În cele din urmă, gazul va fi atît de fierbinte încît atunci cînd atomii de hidrogen se ciocnesc ei nu se mai depărtează unul de altul, ci fuzionează formînd heliu. Căldura eliberată în această reacție, care este ca

o explozie controlată a unei bombe cu hidrogen, este aceea care face ca steaua să strălucească. Această căldură suplimentară mărește și mai mult presiunea gazului pînă ce este suficientă pentru a echilibra atracția gravitațională și gazul încetează să se contracte. Este cam ca un balon — există un echilibru între presiunea aerului din interior, care încearcă să producă umflarea balonului și tensiunea din cauciuc, care încearcă să micșoreze balonul. Stelele vor rămîne stabile un timp îndelungat în care căldura degajată de reacțiile nucleare echilibrează atracția gravitațională. În cele din urmă însă steaua nu va mai avea hidrogen și alți combustibili nucleari. În mod paradoxal, cu cît stelele au mai mult combustibil la început, cu atît mai curînd se termină. Aceasta se întîmplă deoarece cu cît o stea este mai masivă, cu atît trebuie să fie mai fierbinte pentru a echilibra atracția sa gravitațională. Și cu cît este mai fierbinte, cu atît mai repede se consumă combustibilul său. Soarele nostru are probabil destul combustibil pentru încă cinci miliarde de ani, dar stelele mai masive pot să-și epuizeze combustibilul doar într-o sută de milioane de ani, mult mai puțin decît vîrsta universului. Atunci cînd o stea nu mai are combustibil, ea începe să se răcească și astfel se contractă. Ce poate să i se întîmple apoi a fost înțeles pentru prima oară abia la sfîrșitul anilor ′20.

În 1928 un student indian, Subrahmanyan Chandrasekhar, a luat vaporul spre Anglia, pentru a studia la Cambridge cu astronomul britanic Sir Arthur Eddington, un expert în relativitatea generalizată. (Conform unor relatări, un ziarist i-a spus lui Eddington la începutul anilor ′20 că a auzit că ar fi numai trei oameni în lume care înțelegeau relativitatea generalizată. Eddington a tăcut un timp, apoi a replicat „Încerc să mă gîndesc cine este a treia persoană".) În timpul călătoriei din India, Chandrasekhar a calculat modul în care o stea mare putea exista și se putea menține contra gravitației sale după ce și-a consumat tot com-

bustibilul. Ideea era aceasta: atunci cînd o stea se micșorează, particulele de materie ajung foarte aproape una de alta și astfel, conform principiului de excluziune al lui Pauli, ele trebuie să aibă viteze foarte diferite. Aceasta le face să se îndepărteze una de alta și tinde să producă expansiunea stelei. Prin urmare, o stea se poate menține la o rază constantă printr-un echilibru între atracția gravitațională și respingerea care apare datorită principiului de excluziune, așa cum mai înainte gravitația sa era echilibrată de căldură.

Chandrasekhar a realizat însă că există o limită pentru respingerea datorată principiului de excluziune. Teoria relativității limitează diferența maximă între vitezele particulelor de materie din stea la viteza luminii. Aceasta înseamnă că atunci cînd o stea ajunge destul de densă, respingerea cauzată de principiul de excluziune ar fi mai mică decît atracția gravitațională. (Această masă se numește acum limita Chandrasekhar.) O descoperire similară a fost făcută aproape în același timp de savantul rus Lev Davidovici Landau.

Aceasta a avut implicații serioase pentru soarta finală a stelelor masive. Dacă masa unei stele este mai mică decît limita Chandrasekhar, ea poate să-și oprească în cele din urmă contracția și să se stabilizeze la o stare finală posibilă ca o „pitică albă" cu o rază de cîteva mii de kilometri și o densitate de sute de tone pe centimetru cub. O pitică albă este susținută de repulsia, datorată principiului de excluziune, între electronii materiei sale. Observăm un număr mare din aceste stele pitice albe. Una dintre primele descoperite este o stea care se deplasează pe orbită în jurul lui Sirius, cea mai strălucitoare stea de pe cerul nopții.

Landau a arătat că există o altă stare finală posibilă pentru o stea, tot cu masă limită de aproximativ o dată sau de două ori masa soarelui, dar mult mai mică chiar decît o pitică albă. Aceste stele ar fi susținute de respingerea, datorată principiului de excluziune, dintre neutroni și protoni, nu între electroni. Ele au fost

numite, deci, stele neutronice. Ele ar avea o rază de numai aproximativ șaisprezece kilometri și o densitate de sute de milioane de tone pe centimetru cub. În momentul cînd au fost prezise prima oară, nu exista o modalitate de observare a stelelor neutronice. Ele nu au fost detectate, în realitate, decît mult mai tîrziu.

Pe de altă parte, stelele cu masa peste limita Chandrasekhar au o mare problemă atunci cînd își termină combustibilul. În unele cazuri ele pot exploda sau reușesc să elimine destulă materie pentru a-și reduce masa sub limită și deci să evite colapsul gravitațional catastrofal, dar era greu de crezut că acest lucru se întîmpla întotdeauna, indiferent cît de mare era steaua. Cum ar fi știut ea că trebuie să piardă din greutate? Și chiar dacă fiecare stea reușea să piardă destulă masă pentru a evita colapsul, ce s-ar fi întîmplat dacă ați fi adăugat masă la o pitică albă sau la o stea neutronică astfel încît să depășească limita? Ar fi suferit un colaps spre densitate infinită? Eddington a fost șocat de această implicație și a refuzat să creadă rezultatul lui Chandrasekhar. Eddington credea că pur și simplu nu era posibil ca o stea să sufere un colaps către un punct. Acesta a fost punctul de vedere al multor savanți; Einstein însuși a scris o lucrare în care pretindea că stelele nu se vor restrînge la dimensiunea zero. Ostilitatea celorlalți oameni de știință, în special a lui Eddington, fostul său profesor și o autoritate de primă importanță în ceea ce privește structura stelelor, l-a convins pe Chandrasekhar să abandoneze această direcție de lucru și să treacă la alte probleme de astronomie, cum este mișcarea roiurilor de stele. Totuși, atunci cînd i s-a decernat premiul Nobel în 1983, acesta a fost, în parte cel puțin, pentru lucrarea sa de început asupra masei limită a stelelor reci.

Chandrasekhar a arătat că principiul de excluziune putea să nu oprească colapsul unei stele mai masive decît limita Chandrasekhar, dar problema înțelegerii a ceea ce i se întîmplă unei stele de acest fel, conform

teoriei relativității generalizate, a fost rezolvată pentru prima oară de un tînăr american, Robert Oppenheimer, în 1939. Rezultatul său sugera însă că nu ar fi existat consecințe observabile care să poată fi detectate de telescoapele de atunci. Apoi a intervenit cel de-al doilea război mondial și Oppenheimer însuși a fost implicat în proiectul bombei atomice. După război, problema colapsului gravitațional a fost uitată deoarece majoritatea oamenilor de știință erau preocupați de ceea ce se întîmpla la scara atomului și nucleului său. Totuși, în anii ′60, interesul problemelor la scară mare ale astronomiei și cosmologiei a fost retrezit de o creștere însemnată a numărului și domeniului de observații astronomice, determinată de aplicarea tehnologiei moderne. Atunci lucrarea lui Oppenheimer a fost redescoperită și extinsă de mai multe persoane.

Imaginea pe care o avem acum din lucrarea lui Oppenheimer este următoarea: cîmpul gravitațional al stelei modifică traiectoriile razelor de lumină în spațiu-timp față de traiectoriile care ar fi fost dacă steaua nu exista. Conurile de lumină care indică traiectoriile urmate în spațiu și timp de scînteierile de lumină emise de vîrfurile lor sînt curbate spre interior lîngă suprafața unei stele. Aceasta se poate vedea la curbarea luminii stelelor îndepărtate observată în timpul unei eclipse de soare. Cînd steaua se contractă, cîmpul gravitațional la suprafața sa devine mai puternic și conurile de lumină se curbează și mai mult spre interior. Aceasta face și mai dificilă ieșirea luminii din stea și, pentru un observator aflat la distanță, lumina apare mai slabă și mai roșie. În cele din urmă, cînd steaua s-a micșorat pînă la o anumită rază critică, cîmpul gravitațional la suprafață devine atît de puternic încît conurile de lumină sînt curbate spre interior așa de mult că lumina nu mai poate ieși (fig. 6.1). Conform teoriei relativității, nimic nu se poate deplasa mai repede decît lumina. Astfel, dacă lumina nu poate ieși, nu poate ieși nimic altceva; totul este atras de cîmpul

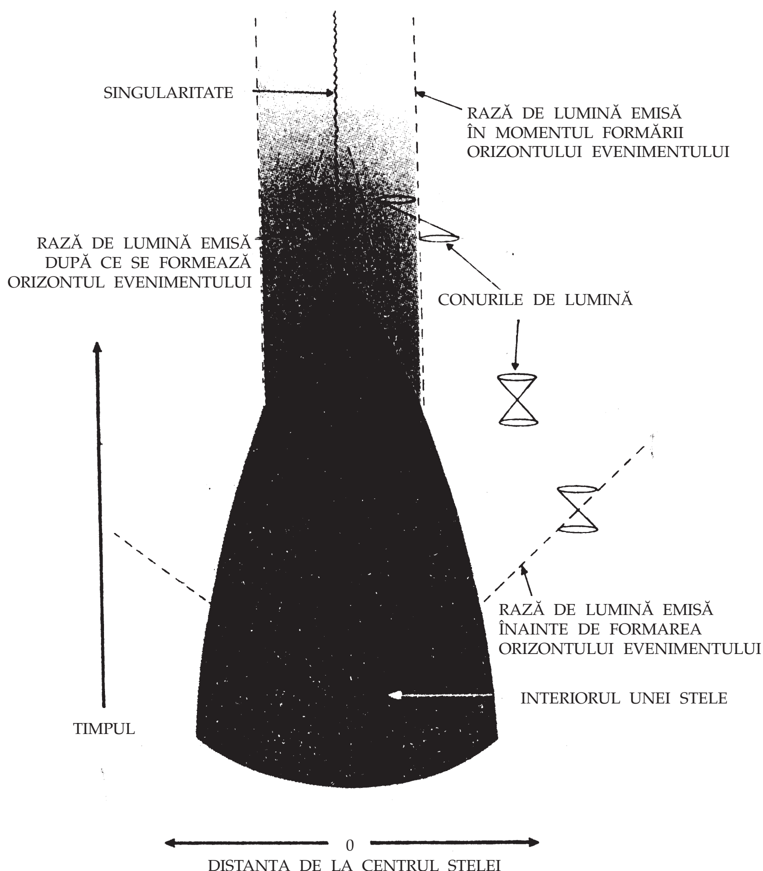


FIGURA 6.1

gravitațional. Există deci un set de evenimente într-o regiune a spațiu-timpului din care nu se poate ieși pentru a ajunge la un observator aflat la distanță. Această regiune se numește o gaură neagră. Limita sa se numește orizontul evenimentului și el coincide cu traiectoriile razelor de lumină care nu au reușit să iasă din gaura neagră.

Pentru a înțelege ce ați vedea dacă ați privi colapsul unei stele ce formează o gaură neagră, trebuie să reamintim că în teoria relativității nu există timp absolut. Fiecare observator are propria sa măsură a timpului. Timpul pentru cineva de pe stea va diferi de timpul pentru cineva aflat la distanță, datorită cîmpului gravitațional al stelei. Să presupunem că un astronaut cutezător aflat pe suprafața unei stele care suferă un colaps, și care se prăbușește o dată cu ea, trimite un semnal la fiecare secundă, conform ceasului său, către nava sa spațială, aflată pe orbită în jurul stelei. La un moment dat indicat de ceasul său, să presupunem 11: 00, steaua s-ar micșora sub raza critică la care cîmpul gravitațional devine atît de puternic încît nimic nu mai poate ieși și semnalele sale nu mai ajung la navă. Pe măsură ce se apropie ora 11:00 camarazii săi, care privesc din navă, ar găsi că intervalele dintre semnalele succesive emise de astronaut ar fi din ce în ce mai lungi, dar acest efect ar fi foarte mic înainte de 10:59:59. Ei ar trebui să aștepte doar foarte puțin mai mult de o secundă între semnalul astronautului de la ora 10:59:58 și cel trimis cînd ceasul său arăta 10:59:59, dar ar trebui să aștepte pentru totdeauna semnalul de la 11:00. Undele de lumină emise de suprafața stelei între 10:59:59 și 11:00, după ceasul astronautului, ar fi împrăștiate pe o perioadă infinită de timp, după cum se vede din nava spațială. Intervalul de timp dintre sosirile undelor succesive la nava spațială ar fi din ce în ce mai lung, astfel că lumina stelei ar apărea din ce în ce mai roșie și din ce în ce mai slabă. În cele din urmă, steaua ar fi atît de întunecată încît nu ar mai putea fi văzută de pe nava spațială; tot ce rămîne este o gaură neagră în spațiu. Steaua ar continua însă să exercite aceeași forță gravitațională asupra navei spațiale, care ar continua să se deplaseze pe orbită în jurul găurii negre.

Totuși, scenariul nu este în întregime realist datorită următoarei probleme. Gravitația devine mai slabă pe

măsură ce vă depărtați de stea, astfel încît forța gravitațională asupra picioarelor cutezătorului nostru astronaut ar fi întotdeauna mai mare decît forța exercitată asupra capului său. Această diferență între forțe l-ar întinde pe astronautul nostru ca pe niște spaghetti sau l-ar rupe înainte ca steaua să se contracte la raza critică la care s-a format orizontul evenimentului! Totuși, credem că există obiecte mult mai mari în univers, cum sînt regiunile centrale ale galaxiilor, care pot suferi, de asemenea, un colaps gravitațional formînd găuri negre; un astronaut aflat pe unul din acestea nu ar fi rupt înainte de a se forma gaura neagră. De fapt, el nu ar simți nimic special cînd ar atinge raza critică și ar putea trece de punctul fără întoarcere fără să-l observe. Totuși, doar în cîteva ore, pe măsură ce regiunea continuă să sufere colapsul, diferența dintre forțele gravitaționale exercitate asupra capului său și picioarelor sale ar deveni atît de mare încît, din nou, l-ar rupe în bucăți.

Lucrarea pe care Roger Penrose și cu mine am făcut-o între 1965 și 1970 a arătat, conform teoriei relativității, că într-o gaură neagră trebuie să fie o singularitate de densitate infinită și curbură infinită a spațiu-timpului. Aceasta este ca Big Bang-ul de la începutul timpului, numai că el ar fi un sfîrșit al timpului pentru corpul care suferă colapsul și pentru astronaut. La această singularitate legile științei și capacitatea noastră de a prezice viitorul nu ar mai funcționa. Totuși, orice observator rămas în afara găurii negre nu ar fi afectat de acest eșec al predictibilității, deoarece nici lumina, nici orice alt semnal din singularitate nu l-ar putea ajunge. Acest fapt remarcabil l-a făcut pe Roger Penrose să propună ipoteza cenzurii cosmice care poate fi parafrazată astfel: „Dumnezeu detestă o singularitate nudă.“ Cu alte cuvinte, singularitățile produse de colapsul gravitațional se produc numai în locuri ca găurile negre, unde ele sînt decent ascunse de o privire exterioară orizontului evenimen-

tului. Strict, aceasta se numește ipoteza cenzurii cosmice slabe: ea protejează observatorii care rămîn în afara găurii negre de consecințele eșecului capacității de prezicere care se produce la singularitate, dar nu face nimic pentru bietul astronaut nefericit care cade în gaură.

Există unele soluții ale ecuațiilor relativității generalizate în care este posibil ca astronautul nostru să vadă o singularitate nudă: el poate să evite să atingă singularitatea și în schimb să cadă printr-o „gaură de vierme" și să iasă în altă regiune a universului. Aceasta ar oferi mari posibilități de a călători în spațiu și timp, dar din nefericire se pare că aceste soluții sînt toate foarte instabile; cea mai mică perturbație, cum ar fi prezența unui astronaut, le poate modifica astfel încît astronautul nu ar putea vedea singularitatea pînă nu ajunge la ea și timpul său ajunge la sfîrșit. Cu alte cuvinte, singularitatea s-ar găsi întotdeauna în viitorul său și niciodată în trecutul său. Versiunea tare a ipotezei cenzurii cosmice afirmă că, într-o soluție realistă, singularitățile s-ar găsi întotdeauna ori în întregime în viitor (ca singularitățile colapsului gravitațional), ori în întregime în trecut (ca Big Bang-ul). Este măreț să se spere că este valabilă o versiune a ipotezei cenzurii, deoarece în apropierea singularităților nude poate fi posibilă călătoria în trecut. Deși acest lucru ar fi grozav pentru scriitorii de literatură științifico-fantastică, ar însemna că nimeni nu ar mai avea o viață sigură: cineva poate intra în trecut și-ți poate omorî tatăl sau mama înainte ca tu să fii conceput!

Orizontul evenimentului, limita regiunii spațiu-timpului de unde nu se mai poate ieși, acționează ca o membrană într-un singur sens în jurul găurii negre: obiecte ca astronauții imprudenți pot cădea prin orizontul evenimentului în gaura neagră, dar din gaura neagră nu mai iese nimic prin orizontul evenimentului. (Amintim că orizontul evenimentului este traiectoria în spațiu-timp a luminii care încearcă să iasă din gaura

neagră, și că nimic nu se poate deplasa mai repede decît lumina.) S-ar putea spune despre orizontul evenimentului ceea ce poetul Dante spunea despre intrarea în Infern: „Voi ce intrați aici, lăsați orice speranță.“ Orice sau oricine cade prin orizontul evenimentului va ajunge curînd la regiunea de densitate infinită și la sfîrșitul timpului.

Relativitatea generalizată prezice că obiectele grele în mișcare determină emisia de unde gravitaționale, unde ale curburii spațiului care se deplasează cu viteza luminii. Acestea sînt similare undelor de lumină, care sînt unde ale cîmpului electromagnetic, dar sînt mult mai greu de detectat. Ca și lumina, ele transportă energia din obiectele care le emit. Ar fi deci de așteptat ca un sistem de obiecte masive să ajungă în cele din urmă într-o stare staționară deoarece energia din orice mișcare va fi transportată de emisia undelor gravitaționale. (Este ca atunci cînd cade un dop în apă: la început el se mișcă destul de mult în sus și în jos, dar deoarece undele duc cu ele energia sa, el va ajunge în cele din urmă la o stare staționară.) De exemplu, mișcarea pămîntului pe orbita sa în jurul soarelui produce unde gravitaționale. Ca efect al pierderii de energie, orbita pămîntului se va modifica astfel încît treptat el ajunge din ce în ce mai aproape de soare, ciocnindu-se de el și ajungînd într-o stare staționară. Rata pierderii de energie este foarte mică — aproape destul să pună în funcțiune un radiator electric. Aceasta înseamnă că vor fi necesari o mie de milioane de milioane de milioane de milioane de ani pînă cînd pămîntul va cădea pe soare, astfel că nu este necesar să vă îngrijorați acum! Modificarea orbitei pămîntului este prea lentă pentru a fi observată, dar producerea acestui efect a fost observată în ultimii cîțiva ani în sistemul numit PSR 1913+16 (PSR înseamnă „pulsar“, un tip special de stea neutronică, ce emite impulsuri regulate de unde radio). Acest sistem conține două stele neutronice care se mișcă pe orbită una în jurul celeilalte, și

energia pe care o pierd prin emisia de unde gravitaționale le face să se deplaseze pe spirală una către cealaltă.

În timpul colapsului gravitațional al unei stele cînd se formează o gaură neagră, mișcările ar fi mult mai rapide, astfel că energia este transportată cu o rată mult mai mare. Prin urmare, nu va dura mult pînă cînd ea va ajunge într-o stare staționară. Cum ar arăta această stare finală? Se poate presupune că ea ar depinde de toate caracteristicile complexe ale stelei din care s-a format — nu numai de masa sa și de viteza de rotație, dar și de diferite densități ale diferitelor părți ale stelei și de mișcările complicate ale gazelor din stea. Și dacă găurile negre ar fi tot atît de variate ca și obiectele din care s-au format în urma colapsului, poate fi foarte greu să se facă preziceri despre găurile negre, în general.

Totuși, în 1967 studiul găurilor negre a fost revoluționat de Werner Israel, un savant canadian (care s-a născut în Berlin, a crescut în Africa de Sud și și-a luat doctoratul în Irlanda). Israel a arătat că, în conformitate cu relativitatea generalizată, găurile negre care nu se rotesc trebuie să fie foarte simple; ele erau perfect sferice, dimensiunea lor depindea numai de masa lor și oricare două găuri negre de acest fel avînd aceeași masă erau identice. De fapt, ele ar putea fi descrise de o soluție particulară a ecuațiilor lui Einstein care era cunoscută încă din 1917, descoperită de Karl Schwarzschild la scurtă vreme după descoperirea relativității generalizate. La început, multe persoane, printre care chiar Israel, au argumentat că deoarece găurile negre trebuie să fie perfect sferice, o gaură neagră poate fi formată numai prin colapsul unui obiect perfect sferic. Orice stea reală — care nu ar fi niciodată *perfect* sferică — ar putea deci să sufere un colaps formînd doar o singularitate nudă.

A existat însă o interpretare diferită a rezultatului obținut de Israel, care a fost susținută în special de Roger Penrose și John Wheeler. Ei susțineau că miș-

cările rapide care au loc în timpul colapsului unei stele ar însemna că undele gravitaționale pe care le emite ar face-o și mai sferică și în momentul în care ajunge la o stare staționară, ea ar fi precis sferică. Conform acestui punct de vedere, orice stea care nu se rotește, indiferent cît de complicată este forma sa și structura sa internă, ar sfîrși după colapsul gravitațional ca o gaură neagră perfect sferică, a cărei dimensiune depinde numai de masa sa. Calculele ulterioare au confirmat acest punct de vedere și curînd acesta a fost general adoptat.

Rezultatul lui Israel trata cazul găurilor negre formate numai din corpuri care nu se rotesc. În 1963, Roy Kerr din Noua Zeelandă a descoperit un set de soluții ale ecuațiilor relativității generalizate care descriau găurile negre rotitoare. Aceste găuri negre „Kerr" se rotesc cu viteză constantă, dimensiunea și forma lor depinzînd numai de masa și viteza lor de rotație. Dacă rotația este zero, gaura neagră este perfect rotundă și soluția este identică cu soluția Schwarzschild. Dacă rotația este diferită de zero, gaura neagră se bombează spre exterior la ecuatorul său (la fel cum pămîntul sau soarele se bombează datorită rotației lor) și cu cît se rotește mai repede, cu atît se bombează mai mult. Astfel, pentru a extinde rezultatul lui Israel ca să includă corpurile rotitoare, s-a presupus că orice corp rotitor care suferă un colaps formînd o gaură neagră ar ajunge în cele din urmă la o stare staționară descrisă de soluția Kerr.

În 1970 un student în cercetare și coleg al meu de la Cambridge, Brandon Carter, a făcut primul pas în demonstrarea acestei ipoteze. El a arătat că, în cazul în care o gaură neagră rotitoare are o axă de simetrie, ca un titirez, dimensiunea și forma sa ar depinde numai de masa și viteza sa de rotație. Apoi, în 1971, eu am demonstrat că orice gaură neagră rotitoare staționară ar avea într-adevăr o asemenea axă de simetrie. În sfîrșit, în 1973, David Robinson de la Kings

College din Londra a utilizat rezultatele lui Carter și ale mele pentru a arăta că ipoteza fusese corectă: o asemenea gaură neagră trebuie într-adevăr să fie o soluție Kerr. Astfel, după colapsul gravitațional o gaură neagră trebuie să ajungă într-o stare în care ea poate fi rotitoare, dar nu pulsantă. Mai mult, dimensiunea și forma sa ar depinde numai de masa și viteza sa de rotație și nu de natura corpului care a suferit colapsul formînd-o. Acest lucru a devenit cunoscut prin maxima „O gaură neagră nu are păr". Teorema „fără păr" este de mare importanță practică, deoarece restrînge foarte mult tipurile posibile de găuri negre. Prin urmare, se pot elabora modele detaliate de obiecte care pot conține găurile negre, și prezicerile modelelor se pot compara cu observațiile. Aceasta mai înseamnă că atunci cînd se formează o gaură neagră se pierde o cantitate foarte mare de informații privind corpul care a suferit colapsul, deoarece după aceea putem măsura numai masa și viteza de rotație a corpului. Semnificația acestui fapt se va vedea în următorul capitol.

Găurile negre reprezintă unul din foarte puținele cazuri din istoria științei în care teoria a fost elaborată foarte detaliat ca un model matematic, înainte de a exista vreo dovadă experimentală a corectitudinii sale. Într-adevăr, acesta era principalul argument al celor care erau împotriva găurilor negre: cum ar putea cineva să creadă în existența unor obiecte pentru care singura dovadă o constituie calculele bazate pe teoria dubioasă a relativității generalizate? Totuși, în 1963, Maarten Schmidt, un astronom de la Observatorul Palomar din California, a măsurat deplasarea spre roșu a unui obiect ca o stea slabă în direcția sursei de unde radio numită 3C273 (adică, sursa numărul 273 din al treilea catalog Cambridge de surse radio). El a descoperit că aceasta era prea mare pentru a fi cauzată de un cîmp gravitațional: dacă ar fi fost o deplasare spre roșu gravitațională, obiectul ar fi trebuit să fie atît de masiv și atît de aproape de noi încît el ar fi pertur-

bat orbitele planetelor din sistemul solar. Aceasta a sugerat că deplasarea spre roșu era cauzată de expansiunea universului, care, la rîndul său, însemna că obiectul era la foarte mare depărtare. Și pentru a fi vizibil de la o distanță așa de mare, obiectul trebuie să fie foarte strălucitor, cu alte cuvinte să emită o cantitate uriașă de energie. Singurul mecanism care s-ar putea crede că ar produce cantități așa de mari de energie pare a fi colapsul gravitațional nu numai al unei singure stele, ci al întregii regiuni centrale a unei galaxii. Au fost descoperite mai multe „obiecte cvasistelare“ similare, sau quasari, toate cu deplasări mari spre roșu. Dar ele sînt toate prea departe și deci prea greu de observat pentru a furniza dovezi sigure pentru găurile negre.

Un sprijin suplimentar pentru existența găurilor negre a apărut în 1967 o dată cu descoperirea de către o studentă de la Cambridge, Jocelyn Bell, a obiectelor din spațiu care emiteau impulsuri regulate de unde radio. La început Bell și conducătorul său științific, Anthony Hewish, au crezut că poate au luat contact cu civilizații extraterestre din galaxie! Într-adevăr, la seminarul în care au anunțat descoperirea, îmi amintesc că au numit primele patru surse găsite LGM 1–4, LGM însemnînd „Micii omuleți verzi“ (*Little Green Men*). În cele din urmă însă ei și toți ceilalți au ajuns la concluzia, mai puțin romantică, după care aceste obiecte care au primit denumirea de pulsari erau de fapt stele neutronice rotative care emiteau impulsuri de unde radio, datorită unei interacții complicate între cîmpurile lor magnetice și materia înconjurătoare. Aceasta a reprezentat o veste proastă pentru scriitorii de western-uri spațiale, dar foarte promițătoare pentru puținii dintre noi care credeau în acel timp în găurile negre: a fost prima dovadă pozitivă că stelele neutronice existau. O stea neutronică are o rază de circa șaisprezece kilometri, numai de cîteva ori mai mare decît raza critică la care o stea devine o gaură neagră.

Dacă o stea poate suferi un colaps spre o dimensiune atît de mică, se poate aștepta ca și alte stele să poată suferi un colaps spre o dimensiune și mai mică și să devină găuri negre.

Cum am putea spera să detectăm o gaură neagră dacă prin definiție ea nu emite nici o lumină? Ar fi ca și cum am căuta o pisică neagră într-o pivniță întunecată. Din fericire, există o cale. Așa cum arăta John Michell în lucrarea sa de pionierat din 1783, o gaură neagră își exercită forța gravitațională asupra obiectelor din apropiere. Astronomii au observat multe sisteme în care două stele se deplasează pe orbite una în jurul celeilalte, atrase una spre cealaltă de gravitație. Ei au mai observat sisteme în care există doar o stea vizibilă care se deplasează pe orbită în jurul unui companion nevăzut. Desigur, nu se poate conchide imediat că acest companion este o gaură neagră: poate fi pur și simplu o stea care este prea slabă pentru a fi văzută. Totuși, unele dintre aceste sisteme, ca acela numit Cygnus X–1 sînt, de asemenea, surse puternice de raze X. Cea mai bună explicație pentru acest fenomen este că materia de la suprafața stelei vizibile a fost aruncată în afară. Cînd ea cade către companionul nevăzut, are o mișcare în spirală (așa cum se scurge apa dintr-o baie) și devine foarte fierbinte, emițînd raze X. Pentru ca acest mecanism să lucreze, obiectul nevăzut trebuie să fie foarte mic, ca o pitică albă, stea neutronică sau gaură neagră. Din orbita observată a stelei vizibile se poate determina masa cea mai mică posibilă a obiectului nevăzut. În cazul lui Cygnus X–1, aceasta era de șase ori masa soarelui, care, conform rezultatului lui Chandrasekhar este prea mare pentru ca obiectul nevăzut să fie o pitică albă. El are, de asemenea, o masă prea mare pentru a fi o stea neutronică. Prin urmare, se pare că trebuie să fie o gaură neagră.

Există și alte modele care explică Cygnus X–1, care nu includ o gaură neagră, dar ele sînt cam forțate. O gaură neagră pare a fi singura explicație naturală a

observațiilor. În ciuda acestui fapt eu am făcut pariu cu Kip Thorne de la Institutul de Tehnologie din California că, de fapt, Cygnus X–1 nu conține o gaură neagră! Aceasta este ca o poliță de asigurare pentru mine. Am lucrat foarte mult la găurile negre și totul ar fi fost o pierdere dacă ar fi reieșit că găurile negre nu există. Dar, în acel caz, aș avea consolarea că am cîștigat pariul, care mi-ar aduce un abonament pe patru ani la revista *Private Eye*. Dacă găurile negre există, Kip va obține un abonament pe un an la *Penthouse*. În 1975, cînd am făcut pariul, eram 80% siguri că Cygnus era o gaură neagră. Acum aș spune că sîntem 95% siguri, dar pariul nu s-a terminat încă.

De asemenea, avem acum dovada existenței cîtorva găuri negre în sisteme ca Cygnus X–1 din galaxia noastră și din două galaxii învecinate numite Norii lui Magellan. Totuși, numărul găurilor negre este aproape sigur mult mai mare; în lunga istorie a universului, multe stele trebuie să-și fi ars tot combustibilul nuclear și să fi suferit un colaps. Numărul găurilor negre poate fi mult mai mare chiar decît numărul stelelor vizibile, care reprezintă circa o sută de miliarde numai în galaxia noastră. Atracția gravitațională suplimentară a unui număr atît de mare de găuri negre ar putea explica de ce galaxia noastră se rotește cu viteza pe care o are: masa stelelor vizibile este insuficientă pentru a explica aceasta. Avem, de asemenea, unele dovezi că în centrul galaxiei noastre există o gaură neagră mult mai mare, cu o masă de circa o sută de mii de ori mai mare decît aceea a soarelui. Stelele din galaxie care se apropie prea mult de această gaură neagră vor fi sfărîmate de diferența dintre forțele gravitaționale de pe fețele apropiată și îndepărtată. Rămășițele lor și gazul aruncat de alte stele vor cădea spre gaura neagră. Ca și în cazul lui Cygnus X–1, gazul se va deplasa pe o spirală spre interior și se va încălzi, deși nu așa de mult ca în acel caz. El nu va ajunge destul de fierbinte pentru a emite

raze X, dar ar putea explica sursa foarte compactă de unde radio și raze infraroșii care se observă în centrul galactic.

Se crede că în centrul quasarilor există găuri negre similare, dar și mai mari, cu mase de sute de milioane de ori mai mari decît masa soarelui. Materia care cade într-o astfel de gaură neagră supermasivă ar reprezenta singura sursă de putere destul de mare pentru a explica enorma cantitate de energie pe care o emit aceste obiecte. Deplasarea în spirală a materiei în gaura neagră ar face ca aceasta să se rotească în aceeași direcție, determinînd crearea unui cîmp magnetic asemănător cu cel al pămîntului. Particule cu energie foarte înaltă ar fi generate lîngă gaura neagră de materia care cade înăuntru. Cîmpul magnetic ar fi atît de puternic încît ar putea focaliza aceste particule în jeturi aruncate spre exterior de-a lungul axei de rotație a găurii negre, adică în direcțiile polilor săi nord și sud. Astfel de jeturi sînt observate într-adevăr în mai multe galaxii și quasari.

Se poate considera, de asemenea, cazul în care ar putea exista găuri negre cu mase mult mai mici decît cea a soarelui. Aceste găuri negre nu pot fi formate prin colaps gravitațional, deoarece masele lor sînt sub masa limită Chandrasekhar: stelele cu masa atît de scăzută se pot susține singure contra forței de gravitație chiar atunci cînd și-au epuizat combustibilul nuclear. Găurile negre cu masă scăzută se puteau forma numai dacă materia era comprimată la densități enorme de presiuni exterioare foarte mari. Aceste condiții s-ar putea produce într-o bombă cu hidrogen foarte mare: fizicianul John Wheeler a calculat odată că dacă cineva ar lua toată apa grea din toate oceanele lumii, ar putea construi o bombă cu hidrogen care ar comprima materia în centru atît de mult încît s-ar crea o gaură neagră. (Desigur, nu ar mai rămîne nimeni să o observe!) O posibilitate mai practică este că astfel de găuri negre cu masă mică s-ar fi putut forma la pre-

siunile și temperaturile înalte ale universului foarte timpuriu. Găurile negre s-ar fi format numai dacă universul timpuriu nu ar fi fost neted și uniform, deoarece numai o regiune mică ce era mai densă decît media putea fi comprimată astfel pentru a forma o gaură neagră. Dar noi știm că trebuie să fi existat unele neregularități, deoarece altfel materia din univers ar mai fi încă și acum distribuită perfect uniform, în loc de a fi grupată în stele și galaxii.

Faptul că neregularitățile necesare pentru explicarea stelelor și galaxiilor au dus sau nu la formarea unui număr semnificativ de găuri negre „primordiale“ depinde evident de detalii ale condițiilor din universul timpuriu. Astfel, dacă am putea determina cît de multe găuri negre primordiale există acum, am învăța o mulțime despre etapele foarte timpurii ale universului. Găurile negre primordiale cu mase mai mari decît un miliard de tone (masa unui munte mare) ar putea fi detectate numai prin influența lor gravitațională asupra celeilalte materii, vizibile, sau asupra expansiunii universului. Totuși, așa cum vom vedea în următorul capitol, în realitate, găurile negre nu sînt deloc negre: ele strălucesc ca un corp fierbinte și cu cît sînt mai mici cu atît strălucesc mai mult. Astfel, paradoxal, rezultă că găurile negre mai mici pot fi mai ușor detectate decît cele mari!

7
Găurile negre nu sînt așa de negre

Înainte de 1970, cercetarea mea asupra relativității generalizate se concentra în principal asupra problemei dacă existase sau nu o singularitate Big Bang. Totuși, într-o seară de noiembrie a acelui an, la scurtă vreme după nașterea fiicei mele, Lucy, pe cînd mă duceam la culcare am început să mă gîndesc la găurile negre. Invaliditatea mea face ca această operație să fie un proces lent, astfel că aveam destul timp. În acel timp nu exista o definiție precisă a punctelor din spațiu-timp care se găsesc în interiorul și în afara unei găuri negre. Discutasem deja cu Roger Penrose ideea de a defini o gaură neagră ca un set de evenimente din care nu era posibilă ieșirea la o distanță mare, definiție care acum este general acceptată. Ea înseamnă că limita găurii negre, orizontul evenimentului, este formată din traiectoriile în spațiu-timp ale razelor de lumină care nu mai pot ieși din gaura neagră, rămînînd pentru totdeauna la marginea ei (fig. 7.1). Este cam ca atunci cînd fugiți de poliție și reușiți să păstrați doar un pas înaintea ei, dar nu puteți scăpa definitiv!

Deodată am realizat că traiectoriile acestor raze de lumină nu s-ar putea apropia niciodată una de alta. Dacă s-ar apropia, ele ar trebui în cele din urmă să intre una în alta. Ar fi ca și cînd ați întîlni pe cineva care fuge de poliție în direcție opusă — ați fi prinși amîndoi! (Sau, în acest caz, ar cădea într-o gaură neagră.) Dar, dacă aceste raze de lumină ar fi înghițite de gaura neagră, atunci ele nu ar fi putut fi la limita găurii negre. Astfel, traiectoriile razelor de lumină în orizontul

evenimentului trebuie să fie întotdeauna paralele sau divergente una față de alta. Un alt mod de a vedea aceasta este că orizontul evenimentului, limita găurii negre, este marginea unei umbre — umbra unui sfîrșit iminent. Dacă priviți umbra făcută de o sursă aflată la mare distanță, cum este soarele, veți vedea că razele de lumină de la margine nu se apropie unele de altele.

Dacă razele de lumină care formează orizontul evenimentului, limita găurii negre, nu se pot apropia niciodată una de alta, aria orizontului evenimentului poate rămîne aceeași sau se poate mări cu timpul dar nu se poate micșora niciodată — deoarece aceasta ar

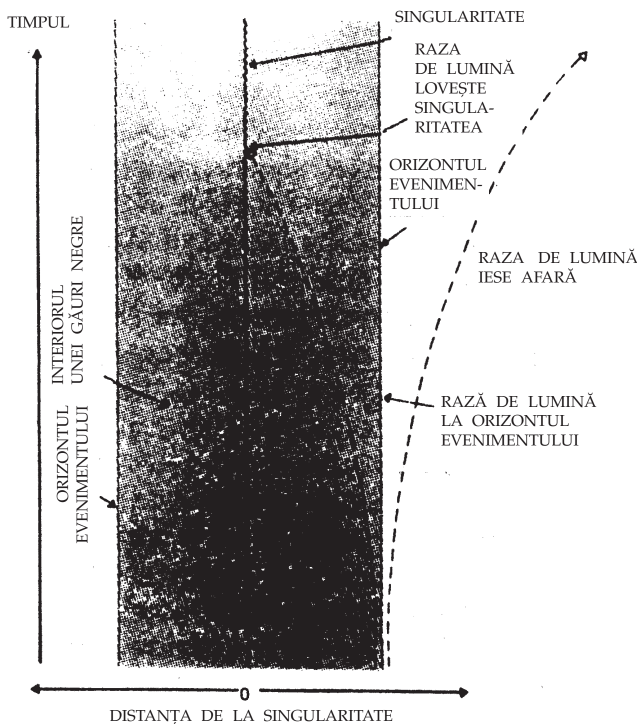
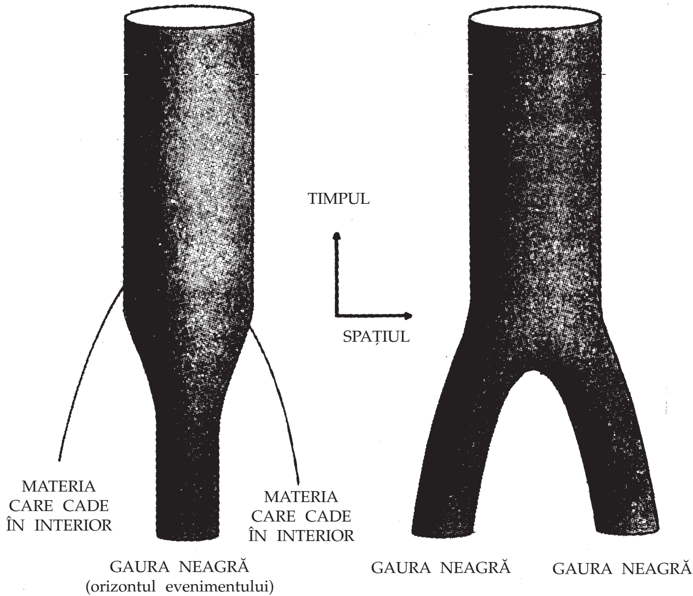


FIGURA 7.1

însemna că cel puțin unele dintre razele de lumină de la limită ar trebui să se apropie una de alta. De fapt, aria ar crește ori de cîte ori în gaura neagră ar cădea materie sau radiație (fig. 7.2). Or, dacă două găuri negre s-ar ciocni și s-ar uni formînd o singură gaură neagră, orizontul evenimentului găurii negre finale ar fi mai mare decît sau egal cu suma ariilor orizonturilor evenimentului găurilor negre inițiale (fig. 7.3). Această proprietate de a nu se micșora a ariei orizontului evenimentului a introdus o restricție importantă asupra comportării posibile a găurilor negre. Am fost atît de surescitat de descoperirea mea că nu am prea dormit în noaptea aceea. A doua zi l-am sunat pe Roger Penrose. El a fost de acord cu mine. Cred, de fapt, că el își dăduse seama de această proprietate a ariei. Totuși, el folosise o definiție ușor diferită a unei găuri negre. El nu realizase că limitele unei găuri negre, conform celor două definiții, ar fi aceleași și deci la fel ar fi și ariile lor, cu condiția ca gaura neagră să se stabilizeze la o stare care nu se modifică în timp.

Comportarea fără micșorare a ariei unei găuri negre amintea foarte mult de comportarea unei mărimi fizice numită entropie, care măsoară gradul de dezordine al unui sistem. Se știe din experiență că dezordinea tinde să crească dacă lucrurile sînt lăsate în voia lor. (Cineva trebuie numai să înceteze de a mai face reparații în jurul casei pentru a vedea aceasta!) Se poate crea ordine din dezordine (de exemplu, se poate zugrăvi casa) dar aceasta necesită cheltuirea unui efort sau a unei energii și astfel scade cantitatea disponibilă de energie ordonată.

O enunțare exactă a acestei idei este a doua lege a termodinamicii. Ea afirmă că entropia unui sistem izolat crește întotdeauna și că atunci cînd se unesc două sisteme, entropia sistemului combinat este mai mare decît suma entropiilor sistemelor individuale. De exemplu, să considerăm un sistem de molecule de gaz dintr-o cutie. Moleculele pot fi considerate ca mici



FIGURILE 7.2 și 7.3

bile de biliard care se ciocnesc încontinuu una de alta și de pereții cutiei. Cu cît este mai mare temperatura gazului, cu atît se mișcă mai repede moleculele gazului și cu atît mai frecvent și mai tare se vor ciocni cu pereții cutiei, cu atît mai mare va fi presiunea exercitată de ele asupra pereților. Să presupunem că inițial toate moleculele sînt limitate printr-un perete la partea stîngă a cutiei. Dacă apoi peretele se scoate, moleculele vor tinde să se împrăștie și să ocupe ambele jumătăți ale cutiei. La un anumit moment ulterior ele ar putea, datorită întîmplării, să se găsească toate în jumătatea dreaptă sau înapoi în jumătatea stîngă, dar este mult mai probabil că vor exista numere aproximativ egale în cele două jumătăți. O astfel de stare este

mai puțin ordonată, sau mai dezordonată decît starea inițială în care toate moleculele erau într-o jumătate de cutie. Prin urmare, se spune că entropia gazului a crescut. În mod asemănător, să presupunem că se începe cu două cutii, una care conține molecule de oxigen și cealaltă cu molecule de azot. Dacă se unesc cutiile și se elimină peretele intermediar, moleculele de oxigen și de azot vor începe să se amestece. La un moment ulterior cea mai probabilă stare ar fi un amestec destul de uniform de molecule de oxigen și azot în ambele cutii. Această stare ar fi mai puțin ordonată și deci ar avea o entropie mai mare decît starea inițială a celor două cutii separate.

A doua lege a termodinamicii are un statut diferit de acela al celorlalte legi ale științei, cum este legea gravitației a lui Newton, de exemplu, deoarece ea nu este valabilă întotdeauna, doar în marea majoritate a cazurilor. Probabilitatea ca toate moleculele de gaz din prima noastră cutie să se găsească într-o jumătate de cutie la un moment ulterior este de unu la multe milioane de milioane, dar acest lucru se poate întîmpla. Totuși, dacă cineva are o gaură neagră în apropiere, pare a fi un mod mai ușor de a încălca legea a doua: trebuie numai să se arunce în gaura neagră materie cu entropie mare, cum ar fi o cutie cu gaz. Entropia totală a materiei din afara găurii negre ar scădea. Desigur, se poate încă spune că entropia totală, inclusiv entropia din interiorul găurii negre, nu a scăzut — dar, deoarece nu se poate privi în interiorul găurii negre, nu putem spune cît de multă entropie are materia din interior. Deci, ar fi bine dacă ar exista o caracteristică a găurii negre prin care observatorii din afara găurii negre să poate spune care este entropia sa, și care ar crește ori de cîte ori în gaura neagră cade materie care transportă entropie. Ca urmare a descoperirii descrise mai sus, că aria orizontului evenimentelor crește atunci cînd în gaura neagră cade materie, un student în cercetare de la Princeton numit Jacob Bekenstein a sugerat

că aria orizontului evenimentelor era o măsură a entropiei găurii negre. Atunci cînd în gaura neagră cade materie care transportă entropie, aria orizontului său va crește, astfel că suma entropiilor materiei din afara găurii negre și a ariei orizonturilor nu s-ar micșora niciodată.

Această ipoteză părea să împiedice încălcarea legii a doua a termodinamicii în majoritatea situațiilor. Totuși, avea un defect fatal. Dacă o gaură neagră are entropie, atunci ea trebuie să aibă și temperatură. Dar un corp cu o anumită temperatură trebuie să emită radiații cu o anumită rată. Este un lucru bine cunoscut că dacă cineva încălzește un vătrai în foc el strălucește incandescent și emite radiații, dar și corpurile cu temperaturi mai scăzute emit radiații; acest lucru nu se observă în mod normal, deoarece cantitatea lor este destul de mică. Această radiație este necesară pentru a preveni încălcarea legii a doua. Astfel, găurile negre trebuie să emită radiații. Dar chiar prin definiție, se presupune că găurile negre sînt obiecte care nu emit nimic. Prin urmare se pare că aria orizontului evenimentelor unei găuri negre nu poate fi privită ca entropia sa. În 1972 am scris o lucrare cu Brandon Carter și un coleg american, Jim Bardeen, în care am arătat că deși erau foarte multe asemănări între entropie și aria orizontului evenimentului, există această dificultate aparent fatală. Trebuie să admit că am scris această lucrare în parte datorită faptului că eram iritat de Bekenstein care, simțeam, utilizase în mod greșit descoperirea mea privind creșterea ariei orizontului evenimentului. Totuși, în cele din urmă a reieșit că el era esențialmente corect, deși într-un mod la care desigur nu se aștepta.

În septembrie 1973, în timp ce vizitam Moscova, am discutat despre găurile negre cu doi experți sovietici Jakov Zeldovici și Alexandr Starobinsky. Ei m-au convins că, în conformitate cu principiul de incertitudine din mecanica cuantică, corpurile negre rotitoare

trebuie să creeze și să emită particule. Am crezut argumentele lor din punct de vedere fizic, dar nu mi-a plăcut modul matematic în care au calculat emisia. Prin urmare, am început să elaborez o tratare matematică mai bună, pe care am descris-o la un seminar ținut la Oxford la sfîrșitul lui noiembrie 1973. În acel moment nu făcusem calculele pentru a afla cît de mult s-ar emite în realitate. Mă așteptam să descopăr doar radiația găurilor negre rotitoare pe care Zeldovici și Starobinsky o preziseseră. Totuși, cînd am făcut calculul, am descoperit, spre surpriza și iritarea mea, că și găurile negre nerotitoare ar trebui aparent să creeze și să emită particule cu o rată staționară. La început am crezut că această emisie arăta că una din aproximațiile pe care le-am utilizat nu era valabilă. Mi-era teamă că dacă Bekenstein aflǎ aceasta, ar putea să o utilizeze ca un argument suplimentar pentru a-și susține ideile privind entropia găurilor negre, care mie tot nu-mi plăcea. Totuși, cu cît mă gîndeam mai mult la ea, cu atît mai mult părea că aproximațiile ar trebui să fie valabile într-adevăr. Dar ceea ce m-a convins în cele din urmă că emisia era reală a fost faptul că spectrul particulelor emise era exact acela care ar fi fost emis de un corp fierbinte și că gaura neagră emitea particule cu exact rata corectă pentru a împiedica încălcarea legii a doua. De atunci calculele au fost repetate în mai multe forme de alte persoane. Toate confirmă că o gaură neagră trebuie să emită particule și radiație ca și cînd ar fi un corp fierbinte cu o temperatură care depinde numai de masa găurii negre: cu cît este masa mai mare, cu atît este mai scăzută temperatura.

Cum este posibil să rezulte că o gaură neagră emite particule cînd noi știm că nimic nu poate scăpa din orizontul evenimentului său? Teoria cuantică ne dă răspunsul: particulele nu vin din gaura neagră, ci din spațiul „gol" care se află imediat în afara orizontului găurii negre! Putem înțelege acest lucru în felul următor: Ceea ce noi considerăm un spațiu „gol" nu poate

fi complet gol deoarece aceasta ar însemna că toate cîmpurile, cum sînt cîmpurile gravitațional și electromagnetic, ar trebui să fie exact zero. Totuși, valoarea unui cîmp și rata sa de modificare în timp sînt ca poziția și viteza unei particule: principiul de incertitudine arată că, cu cît se cunoaște mai precis una din aceste cantități, cu atît mai puțin precis se poate cunoaște cealaltă. Astfel, în spațiul liber cîmpul nu poate fi exact zero, deoarece atunci el ar trebui să aibă atît o valoare precisă (zero), cît și o rată de modificare precisă (zero). În valoarea cîmpului trebuie să existe o valoare minimă a incertitudinii sau fluctuației cuantice. Se pot considera aceste fluctuații ca perechi de particule de lumină sau gravitație care apar împreună în același timp, se depărtează și apoi se unesc din nou și se anihilează reciproc. Aceste particule sînt particule virtuale ca particulele care transportă forța gravitațională a soarelui: spre deosebire de particulele reale, ele nu pot fi observate direct cu un detector de particule. Totuși, efectele lor indirecte, cum sînt modificări mici ale energiei orbitelor electronilor din atomi, se pot măsura și concordă cu prezicerile teoretice cu un grad de precizie remarcabil. Principiul de incertitudine mai prezice că vor exista perechi virtuale similare de particule de materie cum sînt electronii și quarcii. În acest caz însă, un membru al perechii va fi o particulă și celălalt o antiparticulă (antiparticulele de lumină și gravitație sînt aceleași ca particulele).

Deoarece energia nu poate fi creată din nimic, unul din partenerii dintr-o pereche particulă/antiparticulă va avea energie pozitivă și celălalt partener energie negativă. Cel cu energie negativă este condamnat să fie o particulă virtuală de viață scurtă, deoarece în situații normale particulele reale au întotdeauna energie pozitivă. Prin urmare trebuie să-și caute partenerul și să se anihileze reciproc. Totuși, o particulă reală în apropierea unui corp masiv are mai puțină energie decît dacă s-ar afla la mare distanță, deoarece ar fi nevoie

de energie pentru a ridica-o la distanță împotriva atracției gravitaționale a corpului. În mod normal, energia particulei este încă pozitivă, dar cîmpul gravitațional din interiorul unei găuri negre este atît de puternic încît chiar o particulă reală poate avea acolo energie negativă. Prin urmare, este posibil, în prezența unei găuri negre, ca particula virtuală cu energie negativă să cadă în gaura neagră și să devină o particulă sau antiparticulă reală. În acest caz ea nu mai trebuie să se anihileze cu partenerul său. Și partenerul său abandonat poate cădea în gaura neagră. Sau, avînd energie pozitivă, el poate scăpa din vecinătatea găurii negre ca o particulă sau antiparticulă reală (fig. 7.4). Pentru un observator aflat la distanță, el va părea că a fost emis din gaura neagră. Cu cît este mai mică gaura neagră, cu atît este mai scurtă distanța pe care particula cu energie negativă va trebui să o parcurgă înainte de a deveni o particulă reală și astfel cu atît va fi mai mare rata de emisie și temperatura aparentă a găurii negre.

Energia pozitivă a radiației energetice ar fi echilibrată de o curgere a particulelor de energie negativă în gaura neagră. Prin ecuația lui Einstein $E = mc^2$ (unde E este energia, m este masa și c este viteza luminii), energia este proporțională cu masa. Prin urmare, o curgere a energiei negative în gaura neagră reduce masa sa. Deoarece gaura neagră pierde masă, aria orizontului evenimentului devine mai mică, dar această descreștere a entropiei găurii negre este mai mult decît compensată de entropia radiației emise, astfel că legea a doua nu este încălcată niciodată.

O gaură neagră cu masa de cîteva ori mai mare decît masa soarelui ar avea o temperatură de numai o zecime de milionime de grad peste zero absolut. Aceasta este mult mai mică decît temperatura radiațiilor de microunde care umplu universul (circa 2,7° peste zero absolut), astfel că găurile negre ar emite chiar mai puțin decît absorb. Dacă universul este destinat să se extindă mereu, temperatura radiațiilor de microunde va des-

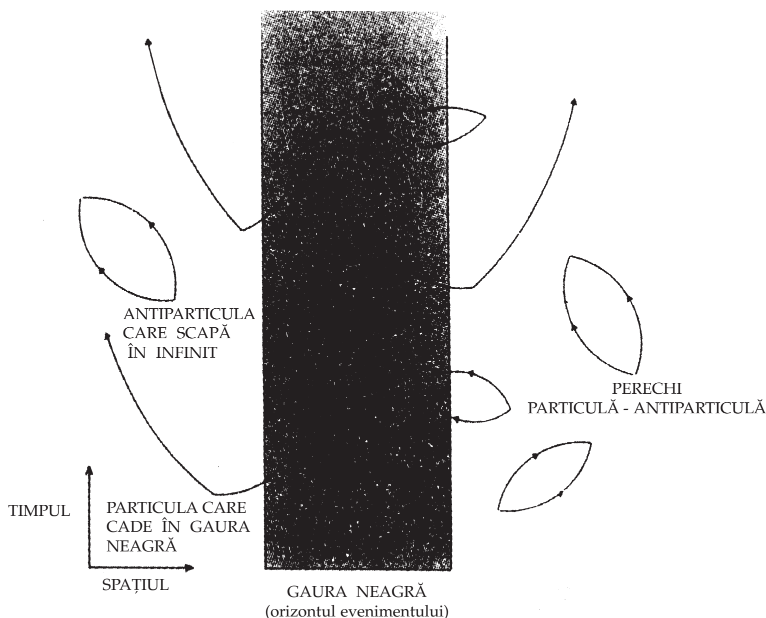


FIGURA 7.4

crește în cele din urmă pînă la mai puțin decît aceea a unei găuri negre de acest fel, care va începe să piardă masă. Dar, chiar și atunci, temperatura sa ar fi atît de scăzută încît ar trebui un milion de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de ani (1 urmat de șaizeci și șase de zerouri) pentru a se evapora complet. Acesta este un timp mult mai mare decît vîrsta universului, care este de numai zece sau douăzeci de miliarde de ani (1 sau 2 urmat de zece zerouri). Pe de altă parte, așa cum s-a menționat în capitolul 6, puteau exista găuri negre primordiale cu masa mult mai mică decît dacă s-ar fi format prin colapsul neregularităților din etapele foarte timpurii

ale universului. Astfel de găuri negre ar avea o temperatură mult mai mare și ar emite radiație cu o rată mult mai mare. O gaură neagră primordială cu o masă inițială de un miliard de tone ar avea un timp de viață aproximativ egal cu vîrsta universului. Găurile negre primordiale cu masele inițiale mai mici decît această valoare ar fi deja complet evaporate, dar acelea cu mase puțin mai mari ar emite încă radiații sub formă de raze X și raze gamma. Aceste raza X și gamma sînt ca undele de lumină, dar cu lungimea de undă mult mai mică. Astfel de găuri merită cu greu calificativul de *negre*: în realitate ele sînt alb *incandescent* și emit energie cu o rată de circa zece mii de megawați.

Dacă s-ar putea valorifica puterea sa, o gaură neagră de acest fel ar putea acționa zece centrale electrice mari. Totuși, acest lucru ar fi dificil: gaura neagră ar avea masa unui munte comprimată în mai puțin de a milioana milionime dintr-un centimetru, dimensiunea nucleului unui atom! Dacă am avea o gaură neagră de acest fel la suprafața pămîntului, nu ar exista nici un mijloc care s-o oprească să cadă prin podea spre centrul pămîntului. Ea ar oscila prin pămînt înainte și înapoi, pînă ce, în cele din urmă, s-ar stabiliza în centru. Astfel că singurul loc unde se poate pune o astfel de gaură neagră în care să se poată utiliza energia pe care o emite ar fi pe o orbită în jurul pămîntului — și singurul mod în care poate fi pusă pe orbită în jurul pămîntului ar fi prin remorcarea unei mase mari în fața sa, ca un morcov în fața unui măgar. Aceasta nu sună ca o propunere foarte practică, cel puțin nu în viitorul apropiat.

Dar, chiar dacă nu putem valorifica emisia acestor găuri negre primordiale, care sînt șansele noastre de a le observa? Putem căuta razele gamma pe care le emit găurile negre primordiale în majoritatea vieții lor. Deși radiația celor mai multe ar fi foarte slabă deoarece ele sînt foarte îndepărtate, totalul radiațiilor lor ar putea fi detectabil. Într-adevăr, observăm un astfel de fond

de raze gamma: figura 7.5 arată modul în care intensitatea observată diferă la diferite frecvențe (numărul de unde pe secundă). Totuși, acest fond ar fi putut să fie generat, și probabil a fost, de alte procese decît găurile negre primordiale. Linia întreruptă din figura 7.5 arată modul în care ar varia intensitatea cu frecvența pentru razele gamma emise de găurile negre primordiale, dacă ar fi în medie 300 pe an-lumină cub. Această limită înseamnă că găurile negre primordiale ar fi putut forma cel mult o milionime din materia din univers.

Găurile negre primordiale fiind atît de puține, ar părea puțin probabil să existe una destul de aproape de noi pentru a o observa ca sursă individuală de raze gamma. Dar, deoarece gravitația ar atrage găurile negre primordiale spre orice materie, ele trebuie să fie mult mai multe în și în jurul galaxiilor. Astfel, deși fondul de raze gamma ne spune că nu pot exista în medie mai mult de 300 de găuri negre primordiale pe an-lumină cub, nu ne spune nimic despre cît de multe pot fi în galaxia noastră. Dacă ar fi, să spunem, de un milion de ori mai multe decît cifra de mai sus, atunci gaura neagră cea mai apropiată de noi ar fi probabil la o distanță de circa un miliard de kilometri, sau cam tot atît de departe ca și Pluto, cea mai îndepărtată planetă cunoscută. Și la această distanță ar fi foarte dificil să se detecteze emisia constantă a unei găuri negre, chiar dacă ar fi de zece mii de megawați. Pentru a observa o gaură neagră primordială ar trebui să se detecteze cîteva cuante de raze gamma care vin din aceeași direcție, într-un interval de timp rezonabil, de exemplu, o săptămînă. Altfel, ele pot reprezenta pur și simplu o parte din fond. Dar principiul cuantic al lui Planck ne spune că fiecare cuantă de raze gamma are o energie foarte înaltă, astfel că pentru a radia chiar zece mii de megawați nu sînt necesare multe cuante. Și pentru a observa aceste cîteva cuante ce vin de la o distanță ca

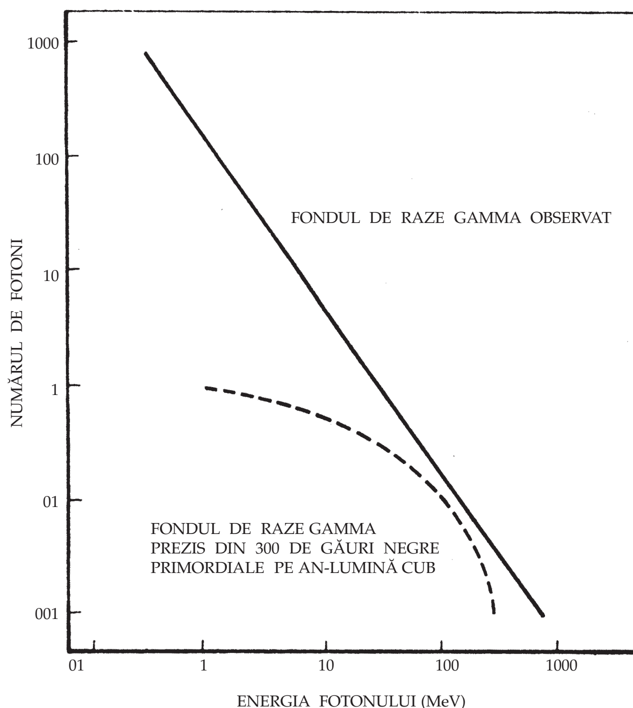


FIGURA 7.5

aceea la care se găsește Pluto, ar fi necesar un detector de raze gamma mai mare decît oricare detector construit pînă acum. În plus, detectorul ar trebui să fie în spațiu, deoarece razele gamma nu pot străbate atmosfera.

Desigur, dacă o gaură neagră aflată la distanța la care se găsește Pluto ar ajunge la sfîrșitul vieții sale și ar exploda, emisia exploziei finale ar fi ușor de detectat. Dar, dacă gaura neagră emite de zece sau douăzeci de miliarde de ani, șansa de a ajunge la un sfîrșit în următorii cîțiva ani, în loc de cîteva milioane de ani în trecut sau în viitor, este într-adevăr foarte mică! Astfel,

pentru a avea o șansă rezonabilă de a vedea o explozie înainte ca fondurile pentru cercetare să se termine, ar trebui să se găsească o cale de detectare a exploziei aflate în interiorul unei distanțe de un an lumină și încă ar exista problema unui mare detector de raze gamma pentru a observa cele cîteva cuante de raze gamma provenite din explozie. În acest caz însă, nu ar fi necesar să se determine că toate cuantele vin din aceeași direcție: ar fi destul să se observe că ele au sosit toate într-un interval de timp, pentru a avea destulă încredere că ele provin din aceeași explozie.

Un detector de raze gamma capabil să depisteze găurile negre primordiale este întreaga atmosferă a pămîntului. (În orice caz, noi nu putem construi un detector mai mare!) Atunci cînd o cuantă de raze gamma cu energie înaltă lovește atomii atmosferei noastre, ea creează perechi de electroni și pozitroni (antielectroni). Cînd aceștia lovesc alți atomi ei creează la rîndul lor mai multe perechi de electroni și pozitroni, astfel că se obține așa-numita cascadă de electroni. Rezultatul este o formă de lumină numită radiația Cerenkov. Prin urmare, se pot detecta impulsurile de raze gamma căutînd scînteieri de lumină pe cerul nopții. Desigur, există și alte fenomene care pot produce scînteieri pe cer, cum sînt fulgerele și reflexiile luminii solare pe sateliți și resturi de sateliți în mișcare pe orbită. Impulsurile de raze gamma se pot deosebi de aceste efecte observînd scînteierile simultan din două locuri îndepărtate unul de celălalt. O astfel de cercetare a fost efectuată în Arizona de doi oameni de știință din Dublin, Neil Porter și Trevor Weekes, folosind telescoape. Ei au găsit mai multe scînteieri, dar nici una care să poată fi atribuită sigur impulsurilor de raze gamma provenite de la găurile negre primordiale.

Chiar dacă rezultatele căutării găurilor negre primordiale sînt negative, ele ne dau, totuși, informații importante despre etapele foarte timpurii ale univer-

sului. Dacă universul timpuriu era haotic sau neregulat, sau dacă presiunea materiei era scăzută, ar fi fost de așteptat să se producă mai multe găuri negre primordiale decît limita stabilită deja de observațiile noastre asupra fondului de raze gamma. Numai dacă universul timpuriu era foarte omogen și izotrop, cu o presiune înaltă, se poate explica absența unui număr mai mare de găuri negre primordiale observate.

* * *

Ideea radiațiilor ce provin de la găurile negre a fost primul exemplu de prezicere care depinde în mod esențial de ambele mari teorii ale acestui secol, relativitatea generalizată și mecanica cuantică. Inițial, ea a stîrnit multe opoziții deoarece deranja punctul de vedere existent: „Cum poate o gaură neagră să emită ceva?“ Atunci cînd am anunțat prima oară rezultatele calculelor mele la o conferință la Laboratorul Rutherford–Appleton de lîngă Oxford, am fost întîmpinat cu neîncredere. La sfîrșitul comunicării mele președintele ședinței, John G. Taylor de la Kings College, Londra, a pretins că totul era o prostie. El a scris chiar o lucrare pe această temă. Totuși, în cele din urmă majoritatea oamenilor, inclusiv John Taylor au ajuns la concluzia că găurile negre trebuie să radieze ca și corpurile fierbinți dacă ideile noastre privind relativitatea generalizată și mecanica cuantică sînt corecte. Astfel, chiar dacă nu am reușit să găsim o gaură neagră primordială, există un acord destul de general că dacă am fi reușit, ea ar fi trebuit să emită o mulțime de raze gamma și raze X.

Existența radiației găurilor negre pare să însemne că colapsul gravitațional nu este atît de final și ireversibil cum am crezut odată. Dacă un astronaut cade într-o gaură neagră, masa acesteia va crește, dar în cele din urmă energia echivalentă masei suplimentare va fi returnată universului sub formă de radiații. Astfel, într-un sens, astronautul va fi „reciclat“. Ar fi totuși

un mod nesatisfăcător de imortalitate, deoarece orice noțiune personală despre timp va ajunge la sfîrșit atunci cînd astronautul este distrus în interiorul găurii negre! Chiar și tipurile de particule care ar fi emise în cele din urmă de gaura neagră ar fi în general diferite de acelea care formau astronautul: singura caracteristică a astronautului care ar supraviețui ar fi masa sau energia sa.

Aproximațiile pe care le-am folosit pentru obținerea emisiei găurilor negre ar trebui să acționeze bine atunci cînd gaura neagră are o masă mai mare decît o fracțiune dintr-un gram. Totuși, ele vor da greș la sfîrșitul vieții găurii negre cînd masa sa devine foarte mică. Rezultatul cel mai probabil pare a fi că gaura neagră pur și simplu va dispărea, cel puțin din regiunea noastră a universului, luînd cu ea astronautul și orice singularitate care ar putea fi în ea, dacă într-adevăr există una. Aceasta a fost prima indicație că mecanica cuantică poate elimina singularitățile prezise de relativitatea generalizată. Totuși, metodele pe care eu și alții le-am utilizat în 1974 nu au putut să răspundă întrebărilor cum este aceea dacă singularitățile s-ar produce în gravitația cuantică. Prin urmare, din 1975 am început să elaborez o abordare mai puternică a gravitației cuantice bazată pe ideea lui Richard Feynman a sumei istoriilor. Răspunsurile pe care această abordare le sugerează pentru originea și soarta universului și elementelor sale, cum sînt astronauții, vor fi prezentate în următoarele două capitole. Vom vedea că, deși principiul de incertitudine introduce limitări asupra preciziei tuturor prezicerilor noastre, el poate elimina, în același timp, lipsa fundamentală de predictibilitate care se produce la o singularitate a spațiu-timpului.

8
Originea și soarta universului

Teoria generală a relativității a lui Einstein prezicea că spațiu-timpul a început la singularitatea Big Bang și ar ajunge la sfîrșit la singularitatea Big Crunch* (dacă întreg universul ar suferi din nou un colaps) sau la o singularitate în interiorul unei găuri negre (dacă o regiune locală, cum este o stea, ar suferi un colaps). Orice materie care ar cădea în gaură ar fi distrusă la singularitate, iar în afară ar continua să se simtă doar efectul gravitațional al masei sale. Pe de altă parte, atunci cînd sînt luate în considerare efectele cuantice, părea că masa sau energia materiei s-ar reîntoarce în cele din urmă la restul universului și că gaura neagră, împreună cu singularitatea din interiorul său s-ar evapora și, în final, ar dispărea. Ar putea avea mecanica cuantică un efect tot atît de dramatic asupra singularităților Big Bang și Big Crunch? Ce se întîmplă în realitate în etapele foarte timpurii sau tîrzii ale universului, cînd cîmpurile gravitaționale sînt atît de puternice încît efectele cuantice nu pot fi ignorate? Are universul, de fapt, un început sau un sfîrșit? Și dacă da, cum arată ele?

Prin anii 1970 studiam în principal găurile negre, dar în 1981 interesul meu în ceea ce privește originea și soarta universului s-a redeșteptat cînd am ascultat o conferință asupra cosmologiei, organizată de iezuiți la Vatican. Biserica Catolică a făcut o mare greșeală cu Galilei cînd a încercat să supună legii o problemă de

---

* Marea Implozie (*n.t.*).

știință, declarînd că soarele se mișcă în jurul pămîntului. Acum, după mai multe secole, ea a hotărît să invite mai mulți experți cu care să se consulte în probleme de cosmologie. La sfîrșitul conferinței participanții au avut o audiență la Papă. El ne-a spus că era bine să se studieze evoluția universului după Big Bang, dar nu ar trebui să facem cercetări în ceea ce privește Big Bang-ul însuși deoarece acela a fost momentul Creației și deci lucrul Domnului. Am fost bucuros atunci că el nu cunoștea subiectul comunicării pe care tocmai o ținusem la conferință — posibilitatea ca spațiu-timpul să fie finit dar să nu aibă limite, ceea ce înseamnă că el nu a avut un început, un moment al Creației. Nu doream să am soarta lui Galilei, cu care împărtășesc un sentiment de solidaritate, în parte datorită coincidenței de a mă fi născut la exact 300 de ani după moartea sa!

Pentru a explica ideile pe care eu și alții le aveam despre modul în care mecanica cuantică poate afecta originea și soarta universului, este necesar mai întîi să fie înțeleasă istoria general acceptată a universului, conform cu ceea ce se cunoaște sub numele de „modelul Big Bang fierbinte". Aceasta presupune că universul este descris înapoi pînă la Big Bang de un model Friedmann. Conform acestor modele, atunci cînd universul se extinde, materia sau radiația din el se răcesc. (Atunci cînd universul își dublează mărimea, temperatura sa scade la jumătate.) Deoarece temperatura este o măsură a energiei (sau vitezei) medii a particulelor, această răcire a universului ar avea un efect important asupra materiei din el. La temperaturi foarte înalte, particulele s-ar mișca atît de repede încît ele ar putea scăpa de orice atracție dintre ele datorată forțelor nucleare sau electromagnetice, dar atunci cînd se răcesc ar fi de așteptat ca particulele care se atrag reciproc să înceapă să se grupeze. Mai mult, chiar și tipurile de particule care există în univers ar depinde de temperatură. La temperaturi destul de înalte, particulele au o energie

atît de mare încît ori de cîte ori se ciocnesc s-ar produce multe perechi particulă/antiparticulă diferite — și deși unele din aceste particule s-ar anihila prin ciocnirea cu antiparticule, ele s-ar produce mai repede decît s-ar putea anihila. Totuși, la temperaturi mai joase, cînd particulele care se ciocnesc au mai puțină energie, perechile particulă/antiparticulă s-ar produce mai lent — și anihilarea ar deveni mai rapidă decît producerea.

Chiar la Big Bang, se crede că universul avea dimensiunea zero și astfel era infinit de fierbinte. Dar pe măsură ce universul se extindea, temperatura radiației scădea. O secundă după Big Bang, ea ar fi scăzut la circa zece miliarde de grade. Aceasta este de circa o mie de ori mai mare decît temperatura din centrul soarelui, dar temperaturi atît de înalte se ating în exploziile bombelor H. În acest moment universul ar fi conținut în majoritate fotoni, electroni și neutrini (particule extrem de ușoare care sînt afectate numai de interacțiile slabe și de gravitație) și antiparticulele lor, împreună cu protoni și neutroni. Cînd universul continua să se extindă și temperatura continua să scadă, rata cu care perechile electron/antielectron erau produse în ciocniri ar fi scăzut sub rata la care erau distruși prin anihilare. Astfel, majoritatea electronilor și antielectronilor s-ar fi anihilat reciproc producînd mai mulți fotoni, rămînînd doar cîțiva electroni. Totuși, neutrinii și antineutrinii nu s-ar fi anihilat reciproc, deoarece aceste particule interacționează foarte slab între ele și cu alte particule. Astfel, ele pot exista și astăzi. Dacă am putea să le observăm, aceasta ar reprezenta imaginea unei etape timpurii foarte fierbinți a universului. Din nefericire, astăzi energiile lor ar fi prea scăzute pentru ca să le putem observa direct. Totuși, dacă neutrinii nu sînt lipsiți de masă, ei au o masă proprie mică; așa cum a sugerat un experiment rusesc neconfirmat, realizat în 1981, am putea să-i detectăm indirect: ei ar putea fi o formă de „materie neagră“,

ca aceea menționată mai înainte, cu o atracție gravitațională suficientă pentru a opri expansiunea universului și a determina colapsul său.

La circa o sută de secunde după Big Bang, temperatura ar fi scăzut la un miliard de grade, temperatura din interiorul celor mai fierbinți stele. La această temperatură protonii și neutronii nu ar mai avea energie suficientă pentru a scăpa de atracția interacției nucleare tari și ar fi început să se combine producînd nucleele atomului de deuteriu (hidrogenul greu), care conține un proton și un neutron. Nucleele de deuteriu s-au combinat apoi cu mai mulți protoni și neutroni formînd nucleele de heliu, care conțin doi protoni și doi neutroni, precum și cantități mici din două elemente mai grele, litiu și beriliu. Se poate calcula că în modelul Big Bang fierbinte circa un sfert din protoni și neutroni ar fi fost convertiți în nuclee de heliu, împreună cu o cantitate mică de hidrogen greu și alte elemente. Neutronii rămași s-ar fi dezintegrat în protoni, care sînt nucleele atomilor de hidrogen obișnuit.

Această imagine a unei etape timpurii fierbinți a universului a fost lansată pentru prima oară de savantul George Gamow într-o celebră lucrare scrisă în 1948 cu un student al său, Ralph Alpher. Gamow avea simțul umorului — el l-a convins pe savantul Hans Bethe să-și adauge numele la lucrare pentru ca lista de autori „Alpher, Bethe, Gamow“ să semene cu primele litere din alfabetul grec alpha, beta, gamma, care erau foarte potrivite pentru o lucrare privind începutul universului! În această lucrare, ei au făcut o prezicere remarcabilă că radiația (în formă de fotoni) din etapele timpurii foarte fierbinți ale universului ar trebui să existe și astăzi, dar avînd temperatura redusă la numai cîteva grade peste zero absolut (–273°C). Această radiație a fost descoperită de Penzias și Wilson în 1965. În timpul în care Alpher, Bethe și Gamow își scriau lucrarea, nu se știau prea multe despre reacțiile nucleare ale protonilor și neutronilor. Prezicerile făcute pentru proporțiile diferitelor elemente din universul

timpuriu au fost deci destul de inexacte, dar aceste calcule au fost repetate în lumina unei cunoașteri mai bune și acum concordă foarte bine cu ceea ce observăm. În plus, este foarte greu să explicăm altfel de ce trebuie să fie atît de mult heliu în univers. Prin urmare, avem destulă încredere că aceasta este imaginea corectă, cel puțin mergînd înapoi pînă la circa o secundă după Big Bang.

În timp de cîteva ore de la Big Bang, producerea heliului și a altor elemente s-ar fi oprit. Și după aceea, în următorul milion de ani universul ar fi continuat să se extindă, fără a se întîmpla prea multe. În cele din urmă, o dată ce temperatura a scăzut la cîteva mii de grade și electronii și nucleele nu mai aveau suficientă energie pentru a depăși atracția electromagnetică dintre ele, ei ar fi început să se combine formînd atomii. Universul ca un întreg ar fi continuat să se extindă și să se răcească, dar, în regiuni care erau puțin mai dense decît media, expansiunea ar fi fost încetinită de atracția gravitațională suplimentară. Aceasta ar opri în cele din urmă expansiunea în unele regiuni și le-ar determina să producă din nou colapsul. În timp ce se producea colapsul lor, atracția gravitațională a materiei din afara acestor regiuni le poate face să înceapă să se rotească ușor. Pe măsură ce regiunea colapsului devine mai mică, ea s-ar roti mai repede — așa cum patinatorii care se rotesc pe gheață, se rotesc mai repede dacă își țin brațele strînse. În final, cînd regiunea a devenit destul de mică, ea s-ar roti destul de repede pentru a echilibra atracția gravitațională și astfel s-au născut galaxiile rotitoare, în formă de disc. Alte regiuni, care nu au început să se rotească, ar deveni obiecte de formă ovală, numite galaxii eliptice. În acestea, colapsul s-ar opri deoarece părțile individuale ale galaxiei s-ar roti pe orbită stabil în jurul centrului său, dar galaxia nu ar avea o rotație globală.

Pe măsură ce trece timpul, gazul de hidrogen și heliu din galaxii s-ar rupe în nori mai mici care ar suferi un colaps sub propria lor gravitație. Cînd aceștia se

contractă și atomii din interior se ciocnesc unii cu alții, temperatura gazului ar crește, pînă ce, în final, el ar deveni destul de fierbinte pentru a începe reacțiile de fuziune nucleară. Acestea convertesc hidrogenul în mai mult heliu și căldura degajată determină creșterea presiunii și astfel oprirea contracției ulterioare a norilor. Ele rămîn stabile în această stare un timp îndelungat ca stele asemănătoare soarelui nostru, care transformă hidrogenul în heliu și radiază energia rezultantă sub formă de căldură și lumină. Stelele mai masive ar trebui să fie mai fierbinți pentru a echilibra atracția lor gravitațională mai puternică, determinînd producerea atît de rapidă a reacțiilor nucleare de fuziune încît ele și-ar epuiza hidrogenul doar într-o sută de milioane de ani. Atunci ele s-ar contracta ușor, pe măsură ce continuă să se încălzească, ar începe să transforme heliul în elemente mai grele cum sînt carbonul sau oxigenul. Aceasta însă nu ar elibera prea multă energie, astfel că s-ar produce o criză, așa cum s-a arătat în capitolul despre găurile negre. Ce se întîmplă apoi nu este complet clar, dar se pare că regiunile centrale ale stelei ar suferi un colaps spre o stare foarte densă, cum este o stea neutronică sau o gaură neagră. Regiunile exterioare ale stelei pot izbucni uneori într-o explozie teribilă numită supernova, care ar lumina toate celelalte stele din galaxia sa. Unele din elementele mai grele produse spre sfîrșitul vieții stelei ar fi azvîrlite înapoi în gazul din galaxie și ar reprezenta o parte din materialul brut pentru următoarea generație de stele. Propriul nostru soare conține circa doi la sută din aceste elemente mai grele, deoarece el este o stea din generația a doua sau a treia, formată acum circa cinci miliarde de ani dintr-un nor rotitor de gaz care conținea resturile unor supernove anterioare. Majoritatea gazului din nor a format soarele sau a fost aruncat în afară, dar o cantitate mică de elemente grele s-au grupat și au format corpurile care acum se mișcă pe orbite în jurul soarelui, planete așa cum este pămîntul.

Pămîntul a fost la început foarte fierbinte și fără atmosferă. În decursul timpului el s-a răcit și a căpătat o atmosferă din emisia de gaze a rocilor. În această atmosferă timpurie nu am fi putut supraviețui. Ea nu conținea oxigen, ci o mulțime de alte gaze otrăvitoare pentru noi, cum sînt hidrogenul sulfurat (gazul care dă ouălor stricate mirosul lor). Există însă alte forme primitive de viață care se pot dezvolta în aceste condiții. Se crede că ele s-au dezvoltat în oceane, posibil ca rezultat al combinărilor întîmplătoare de atomi formînd structuri mari, numite macromolecule, care erau capabile să asambleze alți atomi din ocean în structuri asemănătoare. Astfel, ele s-ar fi reprodus și multiplicat. În unele cazuri existau erori la reproducere. Majoritatea acestor erori erau astfel încît noile macromolecule nu se puteau reproduce și în cele din urmă se distrugeau. Totuși, cîteva erori ar fi produs macromolecule care erau chiar mai bune reproducătoare. Ele aveau deci un avantaj și au încercat să înlocuiască macromoleculele inițiale. În acest fel a început un proces de evoluție care a dus la dezvoltarea unor organisme auto-reproducătoare din ce în ce mai complicate. Primele forme primitive de viață consumau diferite materiale, inclusiv hidrogen sulfurat, și eliberau oxigen. Acest fapt a modificat treptat atmosfera la compoziția pe care o are astăzi și a permis dezvoltarea unor forme de viață mai evoluate cum sînt peștii, reptilele, mamiferele și, în cele din urmă, rasa umană.

Această imagine a universului care a început foarte fierbinte și s-a răcit pe măsură ce s-a extins este în concordanță cu toate dovezile experimentale pe care le avem astăzi. Cu toate acestea, ea lasă fără răspuns mai multe întrebări importante:

1) De ce a fost universul timpuriu așa de fierbinte?
2) De ce este universul atît de omogen la scară mare? De ce arată la fel în toate punctele din spațiu și în toate direcțiile? În special, de ce temperatura radi-

ației de fond de microunde este aproape aceeași cînd privim în direcții diferite? Într-un fel este ca atunci cînd pui o întrebare la examen mai multor studenți. Dacă toți dau exact același răspuns, poți fi sigur că au comunicat între ei. Și totuși, în modelul descris mai sus, lumina nu ar fi avut timp de la Big Bang să ajungă de la o regiune îndepărtată la alta, chiar dacă regiunile erau apropiate în universul timpuriu. Conform teoriei relativității, dacă lumina nu poate ajunge de la o regiune la alta, nici o altă informație nu poate. Astfel, nu ar fi existat nici un mod în care diferite regiuni din universul timpuriu ar fi putut ajunge să aibă aceeași temperatură, în afară de cazul cînd pentru un motiv necunoscut s-a întîmplat ca ele să pornească de la aceeași temperatură.

3) De ce a început universul cu o rată de expansiune atît de apropiată de cea critică, ce separă modelele care suferă un nou colaps de acelea în care continuă să se extindă pentru totdeauna, astfel că acum, zece miliarde de ani mai tîrziu, el tot se mai extinde cu o rată apropiată de cea critică? Dacă rata de expansiune la o secundă după Big Bang ar fi fost mai mică cu o parte dintr-o sută de miliarde de milioane, universul ar fi suferit un nou colaps înainte de a fi ajuns la dimensiunea actuală.

4) În ciuda faptului că universul este atît de omogen și izotrop la scară mare, el conține neregularități cum sînt stelele și galaxiile. Se crede că acestea s-au dezvoltat din mici diferențe ale densității universului timpuriu de la o regiune la alta. Care a fost originea acestor fluctuații ale densității?

Teoria generală a relativității nu poate explica singură aceste caracteristici sau răspunde la aceste întrebări datorită prezicerii sale că universul a început cu o densitate infinită la singularitatea Big Bang-ului. La singularitate, relativitatea generalizată și toate celelalte legi ale fizicii încetează să mai funcționeze: nu se poate

prezice ce va rezulta din singularitate. Așa cum s-a explicat ulterior aceasta înseamnă că Big Bang-ul și toate evenimentele dinaintea lui pot fi eliminate din teorie, deoarece ele nu pot avea vreun efect asupra ceea ce observăm noi. Spațiu-timpul ar avea o limită — un început la Big Bang.

Se pare că știința nu a descoperit un set de legi care, în limitele determinate de principiul de incertitudine, ne spun cum se va dezvolta universul în timp, dacă știm starea sa la un moment dat. Poate că aceste legi au fost inițial decretate de Dumnezeu, dar rezultă că de atunci el a lăsat universul să evolueze conform acestora și nu intervine. Dar cum a ales el starea sau configurația inițială a universului? Care erau „condițiile la limită“ la începutul timpului?

Un răspuns posibil este de a spune că Dumnezeu a ales configurația inițială a universului din motive pe care noi nu putem spera să le înțelegem. Aceasta, desigur, ar fi fost în puterea unei ființe atotputernice, dar dacă ea ar fi creat universul într-un mod atît de neînțeles, de ce a ales să-l lase să evolueze conform unor legi pe care le-am putea înțelege? Întreaga istorie a științei a constat în înțelegerea treptată a faptului că evenimentele nu se produc arbitrar, ci reflectă o anumită ordine fundamentală, care poate fi sau nu de inspirație divină. Ar fi natural să se presupună că această ordine ar trebui să se aplice nu numai legilor, dar și condițiilor la limită ale spațiu-timpului care specifică starea inițială a universului. Poate exista un mare număr de modele ale universului cu diferite condiții inițiale care toate respectă legile. Ar trebui să existe un principiu care să aleagă o stare inițială și deci un model care să reprezinte universul nostru.

O astfel de posibilitate o reprezintă așa-numitele condiții la limită haotice. Acestea presupun implicit că universul este spațial infinit sau că există infinit de multe universuri. În condițiile la limită haotice, probabilitatea de a găsi o anumită regiune a spațiului într-o

configurație dată imediat după Big Bang este aceeași, într-un fel, cu probabilitatea de a o găsi în oricare altă configurație: starea inițială a universului este aleasă pur și simplu întîmplător. Aceasta ar însemna că universul timpuriu a fost probabil foarte haotic, neregulat, deoarece există mult mai multe configurații haotice și dezordonate ale universului decît cele omogene și ordonate. (Dacă fiecare configurație are probabilitate egală, este probabil că universul a început într-o stare haotică și dezordonată, pur și simplu deoarece există mult mai multe dintre acestea.) Este greu de văzut cum au putut da naștere aceste condiții inițiale haotice unui univers atît de omogen și regulat la scară mare cum este al nostru astăzi. Ar fi fost de așteptat ca fluctuațiile de densitate într-un model de acest fel să conducă la formarea mult mai multor găuri negre primordiale decît limita superioară care a fost determinată prin observațiile asupra fondului de raze gamma.

Dacă universul este într-adevăr infinit în spațiu, sau dacă există infinit de multe universuri, ar exista probabil unele regiuni mari undeva, care au început în mod omogen și uniform. Este cam ca bine cunoscuta ceată de maimuțe care lovesc clapele unor mașini de scris — majoritatea celor scrise nu ar însemna nimic, dar foarte rar, pur și simplu din întîmplare, vor scrie unul dintre sonetele lui Shakespeare. Similar, în cazul universului, s-ar putea întîmpla ca noi să trăim într-o regiune care din întîmplare este omogenă și izotropă? La prima vedere acest lucru ar fi foarte puțin probabil deoarece numărul unor astfel de regiuni netede ar fi cu mult depășit de cel al regiunilor haotice și neregulate. Totuși, să presupunem că numai în regiunile omogene se formau galaxii și stele și erau condiții propice pentru dezvoltarea unor organisme complicate autoreproducătoare ca ale noastre, care erau capabile să pună întrebarea: De ce este universul atît de omogen?

Acesta este un exemplu de aplicare a ceea ce se numește principiul antropic, care poate fi parafrazat astfel: „Vedem universul așa cum este deoarece existăm."

Există două versiuni ale principiului antropic, slab și tare. Principiul antropic slab afirmă că într-un univers care este mare sau infinit în spațiu și/sau timp, condițiile necesare pentru dezvoltarea vieții inteligente s-ar întîlni numai în anumite regiuni limitate în spațiu și timp. Ființele inteligente din aceste regiuni nu ar trebui deci să fie surprinse dacă ar observa că poziția lor în univers satisface condițiile necesare pentru existența lor. Este cam ca o persoană bogată care trăiește într-o vecinătate prosperă fără să vadă sărăcia.

Un exemplu de utilizare a principiului antropic slab este de a „explica" de ce s-a produs Big Bang-ul acum circa zece miliarde de ani — pentru că atît este necesar ființelor inteligente să evolueze. Așa cum s-a explicat mai sus, a trebuit să se formeze mai întîi o generație timpurie de stele. Aceste stele au transformat o parte din hidrogenul și heliul inițial în elemente cum sînt carbonul și oxigenul, din care sîntem făcuți. Apoi stelele au explodat formînd supernove și resturile lor au format alte stele și planete, printre care acelea din Sistemul nostru Solar, care are vîrsta de circa cinci miliarde de ani. Primele unul sau două miliarde de ani din existența pămîntului au fost prea fierbinți pentru ca să se poată dezvolta ceva complicat. Restul de trei miliarde de ani au fost consumați de lentul proces al evoluției biologice, care a condus de la organismele cele mai simple la ființe capabile să măsoare timpul înapoi pînă la Big Bang.

Puține persoane ar contrazice valabilitatea sau utilitatea principiului antropic slab. Unii însă merg mult mai departe și propun o versiune tare a principiului. Conform acestei teorii există multe universuri diferite sau multe regiuni diferite ale unui singur univers, fiecare cu propria configurație inițială și, poate, cu propriul set de legi ale științei. În majoritatea acestor

universuri, condițiile nu ar fi corespunzătoare pentru dezvoltarea organismelor complicate; numai în puține universuri care sînt ca al nostru s-ar dezvolta ființe inteligente și ar pune întrebarea: „De ce este universul așa cum îl vedem?“ Atunci răspunsul este simplu: Dacă ar fi fost altfel, noi nu am fi fost aici!

Legile științei, așa cum le cunoaștem în prezent, conțin multe numere fundamentale, cum sînt mărimea sarcinii electrice a electronului și raportul dintre masele protonului și electronului. Nu putem, cel puțin în prezent, să prezicem din teorie valorile acestor numere — trebuie să le găsim din observații. Poate că într-o zi vom descoperi o teorie unificată completă care să le prezică pe toate, dar este posibil, de asemenea, ca unele dintre ele sau toate să varieze de la un univers la altul sau în cadrul unui singur univers. Este remarcabil că valorile acestor numere par să fi fost foarte bine ajustate, încît să facă posibilă dezvoltarea vieții. De exemplu, dacă sarcina electrică a unui electron ar fi doar puțin diferită, stelele nu ar fi putut arde hidrogen și heliu, sau ele nu ar fi putut exploda. Desigur, ar fi putut exista alte forme de viață inteligentă, pe care scriitorii de literatură științifico-fantastică nici n-au visat-o, care nu ar avea nevoie de lumina unei stele ca soarele nostru sau de elementele chimice mai grele care se formează în stele și sînt împrăștiate în spațiu atunci cînd steaua explodează. Cu toate acestea, pare să fie clar că există relativ puține valori numerice care ar permite dezvoltarea unei forme de viață inteligente. Majoritatea seturilor de valori ar da naștere unor universuri care, deși ar putea fi foarte frumoase, nu ar conține pe cineva care să poată admira acea frumusețe. Acest fapt poate fi considerat ca un scop divin al Creației și alegerii legilor științei sau ca sprijin pentru principiul antropic tare.

Există mai multe obiecții care pot fi aduse principiului antropic tare ca o explicație a stării observate a universului. În primul rînd, în ce sens se poate spune

că există aceste universuri diferite? Dacă ele sînt într-adevăr separate unul de altul, ceea ce se întîmplă în alt univers nu poate avea consecințe observabile în propriul nostru univers. Prin urmare trebuie să utilizăm principiul economiei și să le eliminăm din teorie. Dacă, pe de altă parte, ele sînt doar regiuni diferite ale unui singur univers, legile științei ar fi aceleași în fiecare regiune, deoarece altfel nu s-ar putea efectua o deplasare continuă de la o regiune la alta. În acest caz, singura diferență între regiuni ar fi configurația lor inițială și astfel principiul antropic tare se reduce la principiul antropic slab.

O a doua obiecție la principiul antropic tare este că el se opune evoluției întregii istorii a științei. Noi am evoluat de la cosmologiile geocentrice ale lui Ptolemeu și strămoșilor săi, prin cosmologia heliocentrică a lui Copernic și Galilei, la imaginea modernă în care pămîntul este o planetă de mărime medie, care se mișcă pe orbită în jurul unei stele medii în marginile unei galaxii spirale obișnuite, care este ea însăși una din circa un milion de milioane de galaxii din universul observabil. Și totuși principiul antropic tare ar susține că toată această vastă construcție există numai de dragul nostru. Acest lucru este foarte greu de crezut. Sistemul nostru Solar este desigur o necesitate pentru existența noastră și aceasta se poate extinde la toată galaxia pentru a permite generarea anterioară a stelelor care au creat elementele grele. Dar nu pare a fi o necesitate a existenței celorlalte galaxii nici ca universul să fie atît de uniform și asemănător în orice direcție, la scară mare.

Principiul antropic ar fi privit mai favorabil, cel puțin în versiunea slabă, dacă s-ar putea arăta că mai multe configurații inițiale diferite ale universului ar fi evoluat astfel încît să producă un univers ca acela pe care-l observăm. Dacă se întîmplă așa, un univers care s-a dezvoltat din condiții inițiale întîmplătoare ar trebui să conțină mai multe regiuni omogene și izotrope și

adecvate pentru evoluția vieții inteligente. Pe de altă parte, dacă starea inițială a universului a trebuit să fie aleasă extrem de atent pentru a conduce la ceva asemănător cu ceea ce vedem în jurul nostru, nu ar fi probabil ca universul să conțină vreo regiune în care ar apărea viață. În modelul Big Bang fierbinte descris mai sus, în universul timpuriu nu era suficient timp încît căldura să treacă de la o regiune la alta. Aceasta înseamnă că starea inițială a universului ar fi trebuit să aibă exact aceeași temperatură peste tot pentru a explica faptul că fondul de microunde are aceeași temperatură în orice direcție privim. Rata inițială de expansiune ar fi trebuit, de asemenea, să fie aleasă foarte precis pentru ca rata de expansiune să fie atît de apropiată de rata critică necesară pentru a evita colapsul. Aceasta înseamnă că starea inițială a universului trebuie să fi fost într-adevăr foarte bine aleasă dacă modelul Big Bang fierbinte era corect atunci, la începutul timpului. Ar fi foarte greu să se explice de ce universul a trebuit să înceapă exact așa, în afară de faptul că a fost un act al lui Dumnezeu care intenționa să creeze ființe ca noi.

Încercînd să găsească un model al universului în care mai multe configurații inițiale diferite ar fi putut evolua către ceva asemenea universului actual, un savant de la Institutul Tehnologic din Massachusetts, Alan Guth, a sugerat că universul timpuriu trebuie să fi trecut printr-o perioadă de expansiune foarte rapidă. Această expansiune se numește „inflaționistă", însemnînd că odinioară universul s-a extins cu o rată crescătoare, nu cu o rată descrescătoare cum o face astăzi. Conform lui Guth, raza universului a crescut de un milion de milioane de milioane de milioane de milioane (1 urmat de treizeci de zerouri) de ori numai într-o mică fracțiune dintr-o secundă.

Guth a sugerat că universul a început de la Big Bang într-o stare foarte fierbinte, dar haotică. Aceste temperaturi înalte ar fi însemnat că particulele din univers

s-ar fi mișcat foarte repede și ar fi avut energii înalte. Așa cum am discutat mai înainte, ar fi de așteptat ca la temperaturi așa de înalte interacțiile nucleare tari și slabe, precum și forța electromagnetică, să fie toate unificate într-o singură forță. Pe măsură ce universul se extindea, el s-ar fi răcit și energiile particulelor ar fi scăzut. În cele din urmă, ar fi existat o tranziție de fază și simetria între forțe ar fi fost distrusă: interacția tare ar fi devenit diferită de interacția slabă și forța electromagnetică. Un exemplu obișnuit al unei tranziții de fază este înghețarea apei atunci cînd o răciți. Apa lichidă este simetrică, aceeași în orice punct și în orice direcție. Totuși, cînd se formează cristalele de gheață, ele vor avea poziții definite și vor fi aliniate într-o direcție. Aceasta distruge simetria apei.

În cazul apei, dacă se lucrează cu atenție, se poate suprarăci apa, adică se poate reduce temperatura sub punctul de îngheț (0°C) fără formarea gheții. Guth a sugerat că universul ar putea să se comporte în mod asemănător: temperatura putea scădea sub valoarea critică fără a distruge simetria forțelor. Dacă s-a întîmplat acest lucru, universul ar fi într-o stare instabilă, cu mai multă energie decît dacă simetria ar fi fost distrusă. Se poate arăta că această energie suplimentară specială are un efect antigravitațional: ea ar fi acționat precum constanta cosmologică pe care Einstein a introdus-o în relativitatea generalizată atunci cînd încerca să construiască un model static al universului. Deoarece universul se extindea deja exact ca în modelul Big Bang fierbinte, efectul de respingere al acestei constante cosmologice ar fi făcut deci ca universul să se extindă cu o rată care creștea uniform. Chiar în regiuni în care existau mai multe particule de materie decît media, atracția gravitațională a materiei ar fi depășit respingerea constantei cosmologice efective. Astfel, aceste regiuni s-ar extinde, de asemenea, într-un mod accelerat inflaționist. Pe măsură ce ele se extindeau și particulele de materie se depărtau una de alta, ar fi rămas

un univers în expansiune care conținea foarte puține particule și era încă în stare suprarăcită. Neregularitățile existente în univers ar fi fost netezite de expansiune, așa cum încrețiturile unui balon se netezesc atunci cînd este umflat. Astfel, starea actuală omogenă și izotropă a universului ar fi putut evolua din multe stări inițiale neuniforme diferite.

Într-un univers de acest fel, în care expansiunea era accelerată de o constantă cosmologică în loc de a fi încetinită de atracția gravitațională a materiei, ar fi fost timp suficient pentru ca lumina să se deplaseze de la o regiune la alta în universul timpuriu. Aceasta ar putea da o soluție problemei apărute mai înainte: de ce regiuni diferite din universul timpuriu au aceleași proprietăți. Mai mult, rata expansiunii universului ar deveni automat foarte apropiată de rata critică determinată de densitatea energiei universului. Aceasta ar putea explica de ce rata de expansiune este încă atît de apropiată de rata critică, fără să trebuiască să presupunem că rata inițială de expansiune a universului a fost aleasă cu multă grijă.

Ideea inflației ar putea explica, de asemenea, de ce există așa de multă materie în univers. În regiunea universului pe care o putem observa există circa zece milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane (1 urmat de optzeci și cinci de zerouri) de particule. De unde au venit toate? Răspunsul este că, în teoria cuantică, particulele pot fi create din energie în formă de perechi de particulă/antiparticulă. Dar apare întrebarea de unde vine energia. Răspunsul este că energia totală a universului este exact zero. Materia din univers este formată din energie pozitivă. Totuși, materia se atrage pe sine prin gravitație. Două bucăți de materie apropiate au mai puțină energie decît aceleași două bucăți aflate foarte departe una de alta, deoarece ați cheltuit energie să le separați acționînd

împotriva forței gravitaționale care le atrage una spre alta. Astfel, într-un fel, cîmpul gravitațional are energie negativă. În cazul unui univers care este aproximativ uniform în spațiu, se poate arăta că această energie gravitațională negativă anulează exact energia pozitivă reprezentată de materie. Astfel, energia totală a universului este zero.

Dar, de două ori zero fac tot zero. Astfel, universul își poate dubla cantitatea de energie pozitivă a materiei și-și poate dubla și energia gravitațională negativă fără încălcarea conservării energiei. Acest lucru nu se întîmplă la expansiunea normală a universului în care densitatea energiei materiei scade pe măsură ce universul devine mai mare. El se întîmplă, totuși, la expansiunea inflaționistă, deoarece densitatea energiei stării suprarăcite rămîne constantă în timp ce universul se extinde; cînd universul își dublează dimensiunea, energia pozitivă a materiei și energia negativă gravitațională se dublează amîndouă, astfel că energia totală rămîne zero. În timpul fazei inflaționiste, universul își mărește dimensiunea cu o valoare foarte mare. Astfel, cantitatea totală de energie disponibilă pentru crearea particulelor devine foarte mare. Așa cum remarca Guth „Se spune că nu există lucruri ca un prînz gratis. Dar universul este ultimul prînz gratis."

Astăzi universul nu se extinde inflaționist. Rezultă că trebuie să existe un mecanism care ar elimina constanta cosmologică efectivă foarte mare și care ar schimba astfel rata de expansiune de la una accelerată la una încetinită de gravitație, așa cum avem astăzi. În expansiunea inflaționistă se poate aștepta ca pînă la urmă simetria dintre forțe să fie distrusă, exact așa cum apa suprarăcită îngheață întotdeauna în final. Energia suplimentară a stării simetrice ar fi eliberată și ar reîncălzi universul la o temperatură imediat sub temperatura critică pentru simetria dintre forțe. Atunci, universul ar continua să se extindă și să se răcească exact ca în modelul Big Bang fierbinte, dar acum ar

exista o explicație a faptului că universul se extindea exact cu rata critică și că diferite regiuni aveau aceeași temperatură.

În propunerea originală a lui Guth se presupunea că tranziția de fază se produce brusc, așa cum cristalele de gheață apar în apa foarte rece. Ideea era că în vechea fază se formau „bule“ din noua fază cu simetria distrusă, ca bulele de aburi înconjurate de apa care fierbe. Se presupunea că bulele se extindeau și se uneau pînă ce întregul univers ajungea în noua fază. Problema era, așa cum eu și alți cîțiva am arătat, că universul se extindea atît de repede încît chiar dacă bulele ar fi crescut cu viteza luminii, ele s-ar fi îndepărtat unele de altele astfel că nu ar fi putut să se unească. Universul ar fi rămas într-o stare foarte neuniformă, cu unele regiuni avînd încă simetrie între diferitele forțe. Un model de acest fel al universului nu ar corespunde cu ceea ce vedem.

În octombrie 1981 m-am dus la Moscova pentru o conferință despre gravitația cuantică. După conferință am ținut un seminar despre modelul inflaționist și problemele sale la Institutul Astronomic Sternberg. Înainte de acesta, aveam pe altcineva care să-mi țină cursurile, pentru că majoritatea oamenilor nu înțelegeau ce spun. Dar nu am avut timp să pregătesc acest seminar, așa că l-am ținut chiar eu, unul dintre studenții mei repetîndu-mi spusele. În sală era un tînăr rus, Andrei Linde, de la Institutul Lebedev din Moscova. El a spus că dificultatea datorată bulelor care nu se unesc poate fi evitată dacă bulele ar fi atît de mari încît regiunea noastră din univers să fie conținută în întregime într-o singură bulă. Pentru ca acest lucru să fie corect, trebuia ca trecerea de la simetrie la lipsa de simetrie să se facă foarte lent în interiorul bulei, și acest lucru este destul de posibil conform marilor teorii unificate. Ideea lui Linde despre distrugerea lentă a simetriei a fost foarte bună, dar ulterior am realizat că bulele sale ar fi trebuit să fie mai mari decît

dimensiunea de atunci a universului! Am arătat că, în schimb, simetria trebuia să fie distrusă peste tot în același timp nu numai în interiorul bulelor. Aceasta ar conduce la un univers uniform, așa cum îl observăm. Am fost foarte interesat de această idee și am discutat-o cu unul dintre studenții mei, Jan Moss. Ca prieten al lui Linde, am fost stînjenit, totuși, cînd ulterior o revistă științifică mi-a trimis lucrarea sa și m-a întrebat dacă era bună de publicat. Am răspuns că exista această fisură a bulelor care trebuiau să fie mai mari decît universul, dar că ideea de bază a distrugerii lente a simetriei era foarte bună. Am recomandat ca lucrarea să fie publicată așa cum este deoarece lui Linde i-ar trebui cîteva luni ca s-o corecteze, pentru că tot ce era trimis în vest trebuia să treacă prin cenzura sovietică, aceasta nefiind nici pricepută și nici foarte rapidă cu lucrările științifice. În schimb, am scris o lucrare scurtă cu Jan Moss în aceeași revistă în care am descris această problemă cu bulele și am arătat cum ar putea fi rezolvată.

A doua zi după ce m-am întors de la Moscova am plecat la Philadelphia, unde trebuia să primesc o medalie de la Institutul Franklin. Secretara mea Judy Fella și-a utilizat farmecul deloc neglijabil pentru a convinge British Airways să ne dea ei și mie locuri gratis pe un Concorde, pentru publicitate. Însă din cauza ploii torențiale am pierdut avionul. Totuși, am ajuns la Philadelphia și mi-am primit medalia. Mi s-a cerut atunci să țin un seminar despre universul inflaționist la Universitatea Drexel din Philadelphia. Am ținut același seminar despre universul inflaționist ca și la Moscova.

O idee foarte asemănătoare cu cea a lui Linde a fost propusă independent cîteva luni mai tîrziu de Paul Stenhardt și Andreas Albrecht de la Universitatea din Pennsylvania. Ei sînt considerați acum împreună cu Linde creatorii „noului model inflaționist" bazat pe

ideea unei distrugeri lente a simetriei. (Vechiul model inflaționist era propunerea originală a lui Guth a unei distrugeri rapide a simetriei o dată cu formarea bulelor.)

Noul model inflaționist a fost o încercare bună de a explica de ce universul este așa cum este. Totuși, eu și cîteva alte persoane am arătat că, cel puțin în forma sa originală, el prezicea variații mult mai mari ale temperaturii radiației de fond de microunde decît sînt observate. Activitatea ulterioară a pus la îndoială, de asemenea, dacă universul foarte timpuriu putea fi o tranziție de fază de tipul necesar. După părerea mea, noul model inflaționist este acum mort ca teorie științifică, deși o mulțime de persoane nu par a fi auzit despre decesul său și scriu lucrări ca și cînd ar fi încă viabil. În 1983, Linde a propus un model mai bun, numit modelul inflaționist haotic. În cadrul acestui model nu există tranziție de fază sau suprarăcire. În schimb, există un cîmp de spin 0, care, datorită fluctuațiilor cuantice, ar avea valori mari în unele regiuni din universul timpuriu. Energia cîmpului din aceste regiuni s-ar comporta ca o constantă cosmologică. Ea ar avea un efect gravitațional de respingere determinînd extinderea inflaționistă a acelor regiuni. Pe măsură ce ele se extind, energia cîmpului din ele ar descrește lent pînă ce expansiunea inflaționistă se schimbă într-o expansiune ca aceea din modelul Big Bang fierbinte. Una din aceste regiuni ar deveni ceea ce vedem acum ca univers observabil. Acest model are toate avantajele modelelor inflaționiste anterioare, dar el nu depinde de o tranziție de fază îndoielnică și, în plus, el poate da o valoare rezonabilă a fluctuațiilor de temperatură a fondului de microunde care concordă cu observația.

Această activitate privind modelele inflaționiste a arătat că starea actuală a universului ar fi putut proveni dintr-un număr destul de mare de configurații inițiale diferite. Acest lucru este important, deoarece arată că starea inițială a părții de univers pe care o locuim nu

a trebuit să fie aleasă cu mare grijă. Astfel că, dacă dorim, putem utiliza principiul antropic slab pentru a explica de ce universul arată așa cum este acum. Nu se poate însă ca fiecare configurație inițială să fi condus la un univers ca acela pe care-l observăm. Acest lucru se poate demonstra considerînd pentru universul actual o stare foarte diferită, să spunem o stare foarte neregulată și neomogenă. Legile științei pot fi utilizate pentru a urmări înapoi în timp evoluția universului, pentru a determina configurația sa la început. Conform teoremelor singularităților din relativitatea generalizată clasică, ar fi existat o singularitate Big Bang. Dacă faceți să evolueze un univers de acest fel înainte în timp conform legilor științei, veți încheia cu starea neomogenă și neregulată cu care ați început. Astfel că trebuie să fi existat configurații inițiale care nu ar fi dat naștere unui univers ca acela pe care-l vedem astăzi. Rezultă că modelul inflaționist nu ne spune de ce configurația inițială nu a fost astfel încît să producă ceva foarte diferit de ceea ce observăm. Trebuie să ne întoarcem la principiul antropic pentru o explicație? A fost doar o întîmplare norocoasă? Aceasta ar părea o idee a disperării, o negare a tuturor speranțelor noastre de a înțelege ordinea fundamentală a universului.

Pentru a prezice modul în care a început universul sînt necesare legi care sînt valabile la începutul timpului. Dacă teoria clasică a relativității generalizate era corectă, teoremele pe care Roger Penrose și cu mine le-am demonstrat arată că începutul timpului trebuie să fi fost un punct de densitate infinită și curbură infinită a spațiu-timpului. Într-un astfel de punct nici una dintre legile cunoscute ale științei nu mai funcționează. Se poate presupune că erau legi noi care erau valabile la singularități, dar ar fi foarte dificil chiar să se formuleze astfel de legi în puncte care se comportă atît de prost și nu am avea indicații din observații despre ce ar putea fi aceste legi. Totuși, teoremele singularităților arată că, în realitate, cîmpul gravi-

tațional devine atît de puternic încît efectele gravitaționale cuantice devin importante; teoria clasică nu mai reprezintă o descriere bună a universului. De aceea, pentru a discuta etapele foarte timpurii ale universului trebuie să se utilizeze o teorie cuantică a gravitației. Așa cum vom vedea, în teoria cuantică este posibil ca legile obișnuite ale științei să fie valabile peste tot, inclusiv la începutul timpului: nu este necesar să se postuleze noi legi pentru singularități, deoarece în teoria cuantică nu este necesar să existe singularități.

Nu avem încă o teorie completă și consistentă care să combine mecanica cuantică și gravitația. Totuși, sîntem destul de siguri de anumite caracteristici pe care o teorie unificată ar trebui să le aibă. Una este că ea trebuie să înglobeze propunerea lui Feynman de a formula teoria cuantică în funcție de o sumă a istoriilor. În această abordare, o particulă nu are doar o singură istorie, așa cum ar fi avut în teoria clasică. În schimb, se presupune că urmează fiecare traiectorie posibilă în spațiu-timp și fiecărei istorii i se asociază două numere, unul care reprezintă dimensiunea unei unde și celălalt reprezentînd poziția sa în ciclu (faza sa). Probabilitatea ca particula, să spunem, să treacă printr-un anumit punct se găsește adunînd undele asociate fiecărei istorii posibile care trece prin acel punct. Dacă însă se încearcă într-adevăr efectuarea acestor sume, se ajunge la probleme tehnice serioase. Singura cale de a le ocoli este de a urma o indicație specială: trebuie să se adune undele pentru istoriile particulei care nu sînt în timpul „real" pe care îl cunoaștem, ci au loc în ceea ce se numește timpul imaginar. Timpul imaginar poate suna a literatură științifico-fantastică dar, de fapt, este un concept matematic bine definit. Dacă luăm orice număr obișnuit (sau „real") și îl înmulțim cu el însuși, rezultatul este un număr pozitiv. (De exemplu, 2 ori 2 fac 4, dar se obține același rezultat pentru –2 ori –2.) Există însă numere speciale

(numite imaginare) care dau numere negative atunci cînd se înmulțesc cu ele însele. (Acela numit i, cînd este înmulțit cu el însuși, dă –1, 2i înmulțit cu el însuși dă – 4 ș.a.m.d.) Pentru a evita dificultățile tehnice la suma istoriilor a lui Feynman, trebuie să se utilizeze timpul imaginar. Adică pentru efectuarea calculelor timpul trebuie să se măsoare utilizînd numere imaginare în loc de numere reale. Acest lucru are un efect interesant asupra spațiu-timpului; distincția dintre timp și spațiu dispare complet. Un spațiu-timp în care evenimentele au valori imaginare ale coordonatei timpului se numește euclidian, după un grec din antichitate, Euclid, care a pus bazele studiului geometriei suprafețelor bi-dimensionale. Ceea ce numim acum spațiu-timp euclidian este foarte asemănător cu excepția faptului că el are patru dimensiuni în loc de două. În spațiul euclidian nu e nici o diferență între direcția timpului și direcțiile în spațiu. Pe de altă parte, în spațiu-timpul real, în care evenimentele sînt marcate de valori reale, obișnuite ale coordonatei timpului, este ușor să spui care este diferența — direcția timpului în toate punctele se găsește în conul de lumină și direcțiile spațiului se găsesc în afara lui. În orice caz, în ceea ce privește mecanica cuantică obișnuită, putem privi utilizarea timpului imaginar și a spațiu-timpului euclidian doar ca un aparat (sau artificiu) matematic pentru a calcula răspunsurile privind spațiu-timpul real.

O a doua caracteristică pe care credem că trebuie să o aibă orice teorie finală este ideea lui Einstein că un cîmp gravitațional se reprezintă prin spațiu-timpul curbat; particulele încearcă să urmeze corpul cel mai apropiat pe o traiectorie dreaptă într-un spațiu curbat, dar deoarece spațiu-timpul nu este plan, traiectoriile sale sînt curbate, așa cum sînt într-un cîmp gravitațional. Atunci cînd la concepția despre gravitație a lui Einstein aplicăm suma pe toate istoriile a lui Feynman, analogul istoriei unei particule este acum un spațiu-timp complet curbat care reprezintă istoria întregului

univers. Pentru a evita dificultățile tehnice la efectuarea reală a sumei peste toate istoriile, aceste sisteme spațiu-timp curbate trebuie considerate euclidiene. Adică timpul este imaginar și nu poate fi distins de direcțiile spațiului. Pentru a calcula probabilitatea de găsire a unui spațiu-timp real cu o anumită proprietate, cum este aceea că arată la fel în orice punct și în orice direcție, se adună undele asociate tuturor istoriilor care au acea proprietate.

În teoria clasică a relativității generalizate există multe sisteme spațiu-timp curbate posibile, fiecare corespunzînd unei stări inițiale diferite a universului: Dacă știm starea inițială a universului nostru, am ști întreaga sa istorie. În mod asemănător, în teoria cuantică a gravitației există multe stări cuantice diferite posibile pentru univers. Din nou, dacă știm cum se comportă sistemele spațiu-timp euclidiene curbate la început, am cunoaște starea cuantică a universului.

În teoria clasică a gravitației, care se bazează pe un spațiu-timp real, există doar două moduri posibile în care se poate comporta universul: ori a existat un timp infinit, ori a avut un început la o singularitate într-un anumit moment în trecut. Pe de altă parte, în teoria cuantică a gravitației apare o a treia posibilitate. Deoarece se utilizează sisteme spațiu-timp euclidiene în care direcția timpului nu diferă de direcțiile spațiului, este posibil ca spațiu-timpul să aibă întinderea finită și totuși să nu aibă singularități care să formeze o limită sau o margine. Spațiu-timpul ar fi ca suprafața pămîntului, doar că ar avea încă două dimensiuni. Suprafața pămîntului are o întindere finită dar nu are limită sau o margine: dacă navigați spre apus nu cădeți de pe margine sau nu intrați într-o singularitate. (Știu, pentru că am fost în jurul lumii!)

Dacă spațiu-timpul euclidian se întinde înapoi spre un timp imaginar, sau începe la o singularitate în timpul imaginar, avem aceeași problemă ca și specificarea stării inițiale a universului în teoria clasică: poate

că Dumnezeu știe cum a început universul, dar noi nu putem indica un motiv special pentru a crede că a început într-un fel sau altul. Pe de altă parte, teoria cuantică a gravitației a deschis o nouă posibilitate în care spațiu-timpul nu ar avea limită și deci nu ar fi necesar să se specifice comportarea lui la limită. Nu ar fi singularități la care legile științei să nu mai funcționeze și nici margine a spațiu-timpului unde ar trebui să se facă apel la Dumnezeu sau la niște legi noi pentru a stabili condițiile la limită pentru spațiu-timp. Se poate spune: „Condiția la limită a universului este că nu are limită." Universul ar fi complet independent și nu ar fi afectat de nimic din afara sa. El nu ar fi nici creat, nici distrus. Pur și simplu ar FI.

La conferința de la Vatican menționată anterior, eu am prezentat pentru prima oară ipoteza că poate timpul și spațiul formau împreună o suprafață care avea dimensiune finită dar nu avea limită sau margine. Lucrarea mea era matematică însă, astfel că implicațiile sale pentru rolul lui Dumnezeu în crearea universului nu au fost general recunoscute în acel moment (nici chiar de mine). În momentul conferinței de la Vatican, nu știam cum să utilizez ideea „fără limită" pentru a face precizări despre univers. Vara următoare am petrecut-o la Universitatea Santa Barbara din California. Acolo, un coleg și prieten al meu, Jim Hartle, a lucrat împreună cu mine pentru a găsi condițiile pe care trebuie să le satisfacă universul dacă spațiu-timpul nu are limită. Cînd m-am întors la Cambridge, am continuat această lucrare cu doi din studenții mei, Julian Luttrel și Jonathan Halliwell.

Aș vrea să subliniez că ideea că timpul și spațiul ar trebui să fie finit fără limită este doar o *propunere*; ea nu se poate deduce din alt principiu, ca oricare altă teorie științifică, ea a fost pusă în discuție din motive estetice și metafizice, dar testul real cere ca ea să facă predicții care corespund observațiilor. Acest lucru este însă greu de determinat, în cazul gravitației cuantice,

din două motive. În primul rînd, așa cum se va explica în capitolul următor, nu sîntem încă siguri care teorie combină în mod reușit relativitatea generalizată și mecanica cuantică, deși cunoaștem destul de multe despre forma pe care trebuie să o aibă o teorie de acest fel. În al doilea rînd, orice model care descrie în detaliu întregul univers ar fi prea complicat din punct de vedere matematic pentru a-i putea calcula exact predicțiile. Prin urmare, trebuie făcute ipoteze și aproximații simplificatoare — și chiar și atunci problema obținerii predicțiilor rămîne extraordinară.

Fiecare istorie din suma istoriilor nu descrie numai spațiu-timpul, ci și tot ce se află în el, inclusiv organismele complicate ca ființele umane care pot observa istoria universului. Aceasta poate da o altă justificare principiului antropic, deoarece, dacă toate istoriile sînt posibile, atunci, atîta timp cît noi existăm într-una din istorii, putem utiliza principiul antropic pentru a explica de ce universul este așa cum este. Nu este clar ce înțeles poate fi atribuit celorlalte istorii în care noi nu existăm. Acest punct de vedere al unei teorii cuantice a gravitației ar fi mult mai satisfăcător, totuși, dacă s-ar putea arăta că, utilizînd suma istoriilor, universul nostru nu este doar una din istoriile posibile, ci una din cele mai probabile. Pentru a face aceasta, trebuie să efectuăm suma istoriilor pentru toate sistemele spațiu-timp euclidiene posibile care nu au limită.

În cadrul propunerii „fără limită" se arată că șansa universului de a urma majoritatea istoriilor posibile este neglijabilă, dar există o familie specială de istorii care sînt mult mai probabile decît celelalte. Aceste istorii pot fi reprezentate ca suprafața pămîntului, distanța față de Polul Nord reprezentînd timpul imaginar iar dimensiunea unui cerc aflat la distanță constantă de Polul Nord reprezentînd dimensiunea spațială a universului. Universul începe la Polul Nord ca un singur punct. Pe măsură ce ne deplasăm spre sud, paralelele aflate la distanță constantă de Polul Nord devin mai

mari, corespunzînd universului în expansiune în timpul imaginar (fig. 8.1). Universul ar ajunge la ecuator la o dimensiune maximă apoi s-ar contracta o dată cu creșterea timpului imaginar către un singur punct la Polul Sud. Chiar dacă universul ar avea dimensiunea zero la Polul Nord și la Polul Sud, aceste puncte nu ar fi singularități, deși Polul Nord și Polul Sud de pe pămînt sînt singulare. Legile științei vor fi valabile în aceste puncte, exact cum sînt la Polul Nord și la Polul Sud de pe pămînt.

Istoria universului în timp real însă ar arăta foarte diferit. Acum zece sau douăzeci de miliarde de ani, el ar fi avut o dimensiune minimă, care era egală cu raza maximă a istoriei în timpul imaginar. La momente reale ulterioare, universul s-ar extinde ca în modelul haotic inflaționist propus de Linde (dar acum nu mai trebuie să se presupună că universul a fost creat cumva într-o stare corespunzătoare). Universul s-ar extinde spre o dimensiune foarte mare și în cele din urmă va suferi din nou un colaps către ceea ce arată ca o singularitate în timpul real. Astfel, într-un fel sîntem toți condamnați, chiar dacă ne ținem departe de găurile negre. Numai dacă am putea reprezenta universul în funcție de timpul imaginar nu ar fi singularități.

Dacă universul este într-adevăr într-o astfel de stare cuantică, nu ar exista singularități în istoria universului în timpul imaginar. Prin urmare, s-ar părea că lucrarea mea recentă a distrus rezultatele lucrării mele anterioare privind singularitățile. Dar, așa cum am arătat mai sus, importanța reală a teoremelor singularităților era că ele arătau că de fapt cîmpul gravitațional trebuia să devină atît de intens încît efectele gravitaționale cuantice nu puteau fi ignorate. Aceasta, la rîndul său, conduce la ideea că universul ar putea fi finit în timpul imaginar, dar fără limite sau singularități. Cînd se merge înapoi în timpul real în care trăim însă, tot mai apar singularități. Sărmanul astronaut care cade într-o

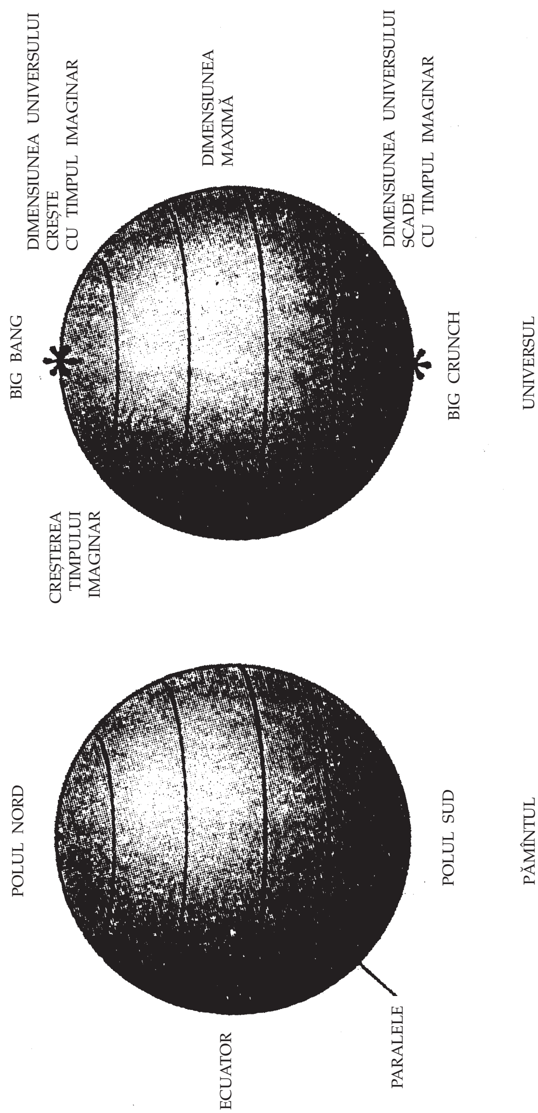

POLUL NORD
ECUATOR
PARALELE
POLUL SUD
PĂMÎNTUL
BIG BANG
DIMENSIUNEA UNIVERSULUI
CREȘTE
CU TIMPUL IMAGINAR
DIMENSIUNEA
MAXIMĂ
DIMENSIUNEA UNIVERSULUI
SCADE
CU TIMPUL IMAGINAR
CREȘTEREA
TIMPULUI
IMAGINAR
BIG CRUNCH
UNIVERSUL

FIGURA 8.1

gaură neagră tot va ajunge la un sfîrșit nebulos, numai că dacă ar fi trăit în timpul imaginar, nu ar fi întîlnit singularități.

Aceasta poate sugera că așa-numitul timp imaginar este în realitate timpul real și ceea ce numim timp real este doar o plăsmuire a imaginației noastre. În timpul real, universul are un început și un sfîrșit la singularități care formează o limită a spațiu-timpului și în care legile științei nu mai funcționează. Dar în timpul imaginar nu există singularități sau limite. Astfel, poate că ceea ce noi numim timp imaginar este în realitate mai concret și ceea ce numim timp real este doar o idee pe care o inventăm pentru a ne ajuta la descrierea a ceea ce vedem că este universul. Dar, conform abordării pe care am descris-o în capitolul 1, o teorie științifică este doar un model matematic pe care îl folosim pentru a descrie observațiile noastre; el există doar în mințile noastre. Astfel, nu are sens să ne întrebăm: Care este real, timpul „real" sau timpul „imaginar"? Este pur și simplu vorba de care este cea mai utilă descriere.

Se poate utiliza, de asemenea, suma istoriilor, împreună cu propunerea „fără limite" pentru a afla care proprietăți ale universului se produc împreună. De exemplu, se poate calcula probabilitatea ca universul să se extindă cu aproape aceeași rată în toate direcțiile simultan cînd densitatea universului are valoarea sa actuală. În modelele simplificate care au fost examinate pînă acum, această probabilitate s-a dovedit a fi mare; adică, condiția „fără limită" propusă conduce la prezicerea că este extrem de probabil ca rata actuală de expansiune a universului să fie aproape aceeași în fiecare direcție. Aceasta este în acord cu observațiile radiației de fond de microunde, care arată că ea are aproape aceeași intensitate în orice direcție. Dacă universul s-ar extinde mai rapid în unele direcții decît în celelalte, intensitatea radiației în acele direcții s-ar reduce cu o deplasare spre roșu suplimentară.

În mod curent se elaborează noi preziceri ale condiției „fără limită". O problemă deosebit de interesantă

este dimensiunea abaterilor mici față de densitatea uniformă din universul timpuriu, care au determinat formarea mai întîi a galaxiilor, apoi a stelelor și în final a noastră. Principiul de incertitudine implică faptul că universul timpuriu nu putea fi complet uniform deoarece trebuie să fi existat unele incertitudini sau fluctuații ale pozițiilor și vitezelor particulelor. Utilizînd condiția „fără limită", găsim că universul trebuie să fi început, de fapt, doar cu neuniformitatea minimă posibilă permisă de principiul de incertitudine. Apoi universul ar fi suferit o perioadă de expansiune rapidă, ca în modelele inflaționiste. În această perioadă, neuniformitățile inițiale s-ar fi amplificat pînă ce au fost destul de mari pentru a explica originea structurilor pe care le vedem în jurul nostru. Într-un univers în expansiune în care densitatea materiei varia ușor de la un loc la altul, gravitația ar fi determinat regiunile mai dense să-și încetinească expansiunea și să înceapă să se contracte. Aceasta ar fi condus la formarea galaxiilor, stelelor și, în cele din urmă, chiar a unor creaturi neînsemnate ca noi. Astfel, toate structurile complicate pe care le vedem în univers ar putea fi explicate prin condiția „fără limită" a universului împreună cu principiul de incertitudine din mecanica cuantică.

Ideea că spațiul și timpul pot forma o suprafață închisă fără limite are, de asemenea, implicații profunde pentru rolul lui Dumnezeu în problemele universului. Datorită succesului teoriilor științifice în descrierea evenimentelor, majoritatea oamenilor au ajuns să creadă că Dumnezeu a permis universului să evolueze conform unui set de legi și nu intervine în univers pentru a încălca aceste legi. Totuși, legile nu ne spun cum trebuie să fi arătat universul la început — ar fi încă la latitudinea lui Dumnezeu să întoarcă ceasul și să aleagă modul în care să-l pornească. Atîta timp cît universul a avut un început, putem presupune că a avut un creator. Dar, dacă universul este complet independent, neavînd limită sau margine, el nu ar fi avut nici început nici sfîrșit: el pur și simplu ar fi fost. Și atunci, la ce bun un creator?

9
Sensul timpului

În capitolele anterioare am văzut cum s-au schimbat de-a lungul anilor părerile noastre despre natura timpului. Pînă la începutul acestui secol oamenii credeau într-un timp absolut. Adică, fiecărui eveniment i se poate atribui în mod unic un număr numit „timp“ și toate ceasurile bune vor fi de acord asupra intervalului dintre două evenimente. Totuși, descoperirea faptului că viteza luminii este aceeași pentru orice observator, indiferent de modul în care se mișcă, a condus la teoria relativității — și în cadrul acesteia ideea existenței unui timp absolut a trebuit să fie abandonată. În schimb, fiecare observator ar avea propria sa măsură a timpului înregistrată de un ceas pe care îl poartă; ceasurile purtate de diferiți observatori nu ar concorda în mod necesar. Astfel, timpul devine un concept mai personal, legat de observatorul care îl măsoară.

Cînd se încearcă unificarea gravitației cu mecanica cuantică, trebuie să se introducă ideea timpului „imaginar“. Timpul imaginar nu se distinge de direcțiile spațiului. Dacă cineva poate merge spre nord, poate să se întoarcă și să meargă spre sud; în mod egal, în timpul imaginar, dacă cineva poate merge înainte, atunci poate să se întoarcă și să meargă înapoi. Aceasta înseamnă că nu poate fi o diferență importantă între direcțiile înainte și înapoi ale timpului imaginar. Pe de altă parte, cînd se consideră timpul „real“, există o diferență foarte mare între direcțiile înainte și înapoi, așa cum știm cu toții. De unde vine această diferență între trecut și viitor? De ce ne amintim trecutul, dar nu viitorul?

Legile științei nu fac diferență între trecut și viitor. Mai exact, așa cum s-a explicat anterior, legile științei nu se schimbă la combinarea operațiilor (sau simetriilor) numite C, P și T. (C înseamnă schimbarea particulelor cu antiparticule, P înseamnă schimbarea cu imaginea în oglindă astfel că stînga și dreapta se schimbă între ele. Și T înseamnă inversarea direcției de mișcare a tuturor particulelor; de fapt mișcarea înapoi.) Legile științei care guvernează comportarea materiei în toate situațiile normale nu se schimbă la combinarea aplicării a două din operațiile C și P asupra lor. Cu alte cuvinte, viața ar fi existat la fel pentru locuitorii unei alte planete care ar fi imaginea noastră în oglindă și ei ar fi formați din antimaterie, nu din materie.

Dacă legile științei nu se schimbă prin combinarea operațiilor C și P și de asemenea prin combinarea C, P și T, ele trebuie să rămînă, de asemenea, neschimbate numai la operația T. Totuși, există o mare diferență între direcțiile înainte și înapoi ale timpului real în viața obișnuită. Imaginați-vă o ceașcă de apă care cade de pe o masă și se sparge în bucăți pe podea. Dacă filmați aceasta, puteți spune ușor dacă filmul rulează înainte sau înapoi. Dacă îl rulați înapoi veți vedea bucățile cum se adună de pe podea și sar înapoi formînd o ceașcă pe masă. Puteți spune că filmul rulează înapoi deoarece acest fel de comportare nu se observă niciodată în viața obișnuită. Dacă ar fi așa, producătorii de porțelanuri ar da faliment.

Explicația care se dă de obicei pentru faptul că nu vedem cești sparte adunîndu-se de pe podea și sărind din nou pe masă este că acest lucru este interzis de legea a doua a termodinamicii. Aceasta spune că în orice sistem închis dezordinea, sau entropia, crește întotdeauna cu timpul. Cu alte cuvinte, este o formă a legii lui Murphy: Lucrurile tind întotdeauna să meargă rău! O ceașcă intactă pe masă reprezintă o stare foarte ordonată, dar o ceașcă spartă pe podea este o stare

dezordonată. Se poate trece ușor de la ceașca de pe masă din trecut la ceașca spartă de pe podea din viitor, dar nu invers.

Creșterea dezordinii sau entropiei cu timpul reprezintă un exemplu de sens al timpului, ceva care diferențiază trecutul de viitor, dînd timpului o direcție. Există cel puțin trei sensuri diferite ale timpului. Primul este sensul termodinamic al timpului, direcția timpului în care dezordinea sau entropia crește. Apoi, există sensul psihologic al timpului. Aceasta este direcția în care noi simțim trecerea timpului, direcția în care ne reamintim trecutul, dar nu viitorul. În sfîrșit, există un sens cosmologic al timpului. Acesta este direcția timpului în care universul se extinde, nu se contractă.

În acest capitol voi arăta că pentru univers condiția „fără limită" împreună cu principiul antropic slab pot explica de ce toate cele trei sensuri sînt îndreptate în aceeași direcție — și, în plus, de ce trebuie să existe un sens al timpului bine definit. Voi arăta că sensul psihologic este determinat de sensul termodinamic și că aceste două sensuri sînt îndreptate întotdeauna, în mod necesar, în aceeași direcție. Dacă se presupune condiția „fără limită" pentru univers, vom vedea că trebuie să existe sensuri termodinamice și cosmologice bine definite ale timpului, dar ele nu vor fi îndreptate în aceeași direcție pentru întreaga istorie a universului. Totuși, voi arăta că numai atunci cînd ele sînt îndreptate în aceeași direcție sînt condiții adecvate pentru dezvoltarea ființelor inteligente care pot pune întrebarea: De ce crește dezordinea în aceeași direcție a timpului cu aceea în care se extinde universul?

Voi discuta mai întîi sensul termodinamic al timpului. A doua lege a termodinamicii rezultă din faptul că există întotdeauna mai multe stări dezordonate decît cele ordonate. De exemplu, să considerăm piesele unui puzzle într-o cutie. Există un aranjament, unul singur, în care piesele formează un tablou complet. Pe

de altă parte, există un număr foarte mare de aranjamente în care piesele sînt dezordonate și nu formează tabloul.

Să presupunem că un sistem începe într-una dintr-un număr mic de stări ordonate. Pe măsură ce trece timpul, sistemul va evolua conform legilor științei și starea sa se va schimba. La un moment ulterior, este mai probabil că sistemul va fi într-o stare dezordonată decît într-una ordonată deoarece există mai multe stări dezordonate. Astfel, dezordinea va tinde să crească cu timpul, dacă sistemul satisface o stare inițială foarte ordonată.

Să presupunem că piesele puzzle încep într-o cutie aranjate ordonat formînd un tablou. Dacă scuturați cutia, piesele vor avea alt aranjament. Acesta va fi probabil un aranjament dezordonat în care piesele nu formează un tablou, pur și simplu pentru că sînt mai multe aranjamente dezordonate. Unele grupuri de piese pot forma încă părți ale tabloului, dar cu cît scuturați mai mult cutia, cu atît este mai probabil că aceste grupuri vor fi distruse și piesele se vor găsi într-o stare complet amestecată în care nu mai formează nici un tablou. Astfel dezordinea pieselor va crește probabil cu timpul dacă piesele satisfac condiția inițială că au început într-o stare foarte ordonată.

Să presupunem însă că Dumnezeu a hotărît că universul trebuie să termine într-o stare foarte ordonată dar că nu are importanță în ce stare a început. La începuturi universul ar fi probabil într-o stare dezordonată. Aceasta înseamnă că dezordinea va scădea cu timpul. Ați vedea cești sparte adunîndu-se și sărind înapoi pe masă. Totuși, orice ființe umane care ar observa ceștile ar trăi într-un univers în care dezordinea ar scădea cu timpul. Voi arăta că astfel de ființe ar avea un sens psihologic al timpului care ar fi îndreptat înapoi. Adică, ele și-ar aminti evenimente din viitor

și nu și-ar aminti evenimente din trecut. Cînd s-a spart ceașca, ei și-ar aminti-o stînd pe masă, dar cînd ar fi pe masă ei nu și-ar aminti-o pe podea.

Este destul de greu să vorbim despre memoria umană deoarece nu știm cum lucrează creierul în detaliu. Știm însă totul despre modul în care lucrează memoria computerelor. Prin urmare, voi discuta sensul psihologic al timpului pentru computere. Cred că este rezonabil să se presupună că sensul pentru computere este același ca pentru ființele umane. Dacă nu ar fi, s-ar putea da o lovitură la bursă avînd un computer care și-ar aminti prețurile de mîine!

Memoria unui computer este un dispozitiv care conține elemente care pot exista într-una din două stări. Un exemplu simplu este un abac. În forma sa cea mai simplă, acesta constă din mai multe sîrme; pe fiecare sîrmă există o bilă care poate fi pusă într-una din două poziții. Înainte ca un element să fie înregistrat în memoria unui computer, memoria este în stare dezordonată, cu posibilități egale pentru cele două stări posibile. (Bilele abacului sînt împrăștiate întîmplător pe sîrmele abacului.) După ce memoria interacționează cu sistemul ce trebuie amintit, el se va găsi clar într-o stare sau alta, conform stării sistemului. (Fiecare bilă a abacului va fi ori la stînga ori la dreapta sîrmei abacului.) Astfel memoria a trecut de la o stare dezordonată la una ordonată. Totuși, pentru a se asigura că memoria este într-o stare corectă, este necesar să se utilizeze o anumită cantitate de energie (pentru a mișca bila sau pentru a alimenta computerul, de exemplu). Această energie se disipează sub formă de căldură și mărește cantitatea de dezordine din univers. Se poate arăta că această creștere a dezordinii este întotdeauna mai mare decît creșterea ordinii memoriei. Astfel, căldura eliminată de ventilatoarele de răcire a calculatorului înseamnă că, atunci cînd un computer înregistrează un element de memorie, cantitatea totală

de dezordine din univers crește. Direcția timpului în care un computer își amintește trecutul este aceeași cu aceea în care crește dezordinea.

Sensul nostru subiectiv al direcției timpului, sensul psihologic al timpului, este determinat deci în creierul nostru de sensul termodinamic al timpului. La fel ca un computer, noi trebuie să ne amintim lucrurile în ordinea în care crește entropia. Aceasta face legea a doua a termodinamicii aproape neînsemnată. Dezordinea crește cu timpul deoarece noi măsurăm timpul în direcția în care dezordinea crește. Nu puteți face un pariu mai sigur ca acesta!

Dar de ce trebuie să existe sensul termodinamic al timpului? Sau, cu alte cuvinte, de ce trebuie ca universul să fie într-o stare foarte ordonată la un capăt al timpului, capătul pe care-l numim trecut? De ce nu este într-o stare de dezordine completă tot timpul? Doar aceasta ar părea mai probabilă. Și de ce direcția timpului în care dezordinea crește este aceeași cu aceea în care universul se extinde?

În teoria clasică a relativității generalizate nu se poate prezice modul în care universul ar fi început, deoarece nici una dintre legile cunoscute nu ar mai funcționa la singularitatea Big Bang-ului. Universul putea să fi început într-o stare foarte omogenă și ordonată. Aceasta ar fi condus la sensuri termodinamic și cosmologic bine definite ale timpului, după cum observăm. Dar s-ar fi putut la fel de bine ca el să fi început într-o stare foarte neomogenă și dezordonată. În acest caz, universul ar fi fost deja într-o stare de dezordine completă, astfel că dezordinea nu ar putea să crească cu timpul. Ea ar rămîne constantă, caz în care nu ar fi un sens termodinamic bine definit al timpului, sau ar descrește, caz în care sensul termodinamic al timpului ar fi îndreptat în direcție opusă sensului cosmologic. Nici una din aceste posibilități nu corespunde cu ceea ce observăm. Totuși, așa cum am văzut, relativitatea generalizată clasică prezice propria sa că-

dere. Atunci cînd curbura spațiu-timpului devine mare, efectele gravitaționale cuantice vor deveni importante și teoria clasică va înceta să fie o descriere bună a universului. Pentru a înțelege cum a început universul, trebuie să se utilizeze o teorie cuantică a gravitației.

Așa cum am văzut în ultimul capitol, într-o teorie cuantică a gravitației pentru a specifica starea universului ar trebui să se spună cum s-ar comporta istoriile posibile ale universului la limita spațiu-timpului în trecut. Această dificultate de a descrie ceea ce nu știm și nu putem ști s-ar evita numai dacă istoriile satisfac condiția „fără limită"; ele au o întindere finită dar nu au limite, margini sau singularități. În acest caz, începutul timpului ar fi un punct regulat, omogen al spațiu-timpului și universul ar fi trebuit să-și înceapă expansiunea într-o stare foarte omogenă și ordonată. El nu ar fi putut fi complet uniform, deoarece aceasta ar fi încălcat principiul de incertitudine din teoria cuantică. Trebuie să fi existat fluctuații mici ale densității și vitezelor particulelor. Totuși, condiția „fără limită" însemna că aceste fluctuații erau cît se putea de mici, conform principiului de incertitudine.

Universul trebuie să fi început cu o perioadă de expansiune exponențială sau „inflaționistă" în care și-ar fi mărit dimensiunea cu un factor foarte mare. În timpul acestei expansiuni, fluctuațiile densității ar fi trebuit să rămînă mici la început, dar apoi ar fi trebuit să înceapă să crească. Regiunile în care densitatea era puțin mai mare decît media ar fi avut o expansiune încetinită de atracția gravitațională a masei suplimentare. În cele din urmă, aceste regiuni și-ar fi oprit expansiunea și ar fi suferit un colaps formînd galaxii, stele și ființe ca noi. Universul ar fi trebuit să înceapă într-o stare omogenă, ordonată și ar fi devenit neomogen și dezordonat pe măsură ce timpul trecea. Aceasta ar explica existența sensului termodinamic al timpului.

Dar ce s-ar întîmpla dacă și cînd universul și-ar opri expansiunea și ar începe să se contracte? S-ar inversa sensul termodinamic și dezordinea ar începe să scadă cu timpul? Aceasta ar conduce la toate felurile de posibilități ale literaturii științifico-fantastice pentru persoanele care ar supraviețui forței expansiunii și contracției. Ar vedea ele ceștile sparte adunîndu-se de pe podea și sărind înapoi pe masă? Ar putea să-și amintească prețurile de mîine și să facă avere la bursă? Pare a fi puțin cam academic să te îngrijorezi de ceea ce s-ar întîmpla cînd universul ar suferi din nou un colaps, deoarece el nu va începe să se contracte cel puțin zece miliarde de ani de acum încolo. Dar există o cale mai rapidă de a afla ce se va întîmpla: să sari într-o gaură neagră. Colapsul unei stele formînd o gaură neagră este la fel ca ultimele etape ale colapsului întregului univers. Dacă dezordinea descreștea în faza de contracție a universului, s-ar putea aștepta, de asemenea, să descrească într-o gaură neagră. Astfel, poate un astronaut care cade într-o gaură neagră ar putea să cîștige bani la ruletă amintindu-și unde s-a oprit bila înainte de a miza. (Din nefericire însă el nu ar avea mult timp să joace înainte de a fi transformat în spaghetti. Nici nu ar putea să ne comunice inversarea sensului termodinamic, sau chiar să-și încaseze cîștigul, deoarece el ar fi prins dincolo de orizontul evenimentului găurii negre.)

La început, am crezut că dezordinea ar descrește cînd universul ar suferi din nou un colaps. Aceasta deoarece credeam că universul trebuia să se întoarcă la o stare omogenă și ordonată atunci cînd devenea din nou mic. Aceasta însemna că faza de contracție ar fi ca inversarea timpului fazei de expansiune. În faza de contracție, oamenii și-ar trăi viețile înapoi: ei ar muri înainte de a fi născuți și ar deveni mai tineri pe măsură ce universul se contractă.

Această idee este atractivă, deoarece ar însemna o simetrie între fazele de expansiune și de contracție.

Totuși, ea nu poate fi adoptată singură, independent de celelalte idei despre univers. Problema e: Este explicată de condiția „fără limită", sau nu este corespunzătoare cu această condiție? Așa cum am spus, am crezut la început că într-adevăr condiția „fără limită" înseamnă că dezordinea ar scădea în faza de contracție. Am fost indus în eroare în parte de analogia cu suprafața pămîntului. Dacă se consideră că începutul universului corespunde cu Polul Nord, atunci sfîrșitul universului trebuie să fie asemănător cu începutul, exact cum Polul Sud este similar cu Polul Nord. Totuși Polul Nord și Polul Sud corespund începutului și sfîrșitului universului în timpul imaginar. Începutul și sfîrșitul în timp real pot diferi foarte mult. Am mai fost indus în eroare de analiza pe care am făcut-o pe un model simplu al universului în care faza de colaps era ca inversarea timpului fazei de expansiune. Totuși, un coleg de-al meu, Don Page, de la Penn State University, a arătat că condiția „fără limită" nu cere în mod necesar ca faza de contracție să fie inversarea în timp a fazei de expansiune. În plus, unul dintre studenții mei, Raymond Laflamme, a descoperit că, într-un model puțin mai complicat, colapsul universului era foarte diferit de expansiune. Mi-am dat seama că făcusem o greșeală: condiția „fără limită" însemna că dezordinea ar continua, de fapt, să crească în timpul contracției. Sensurile termodinamic și psihologic al timpului nu s-ar inversa cînd universul ar începe să se contracte din nou sau în interiorul găurilor negre.

Ce-ați face cînd v-ați da seama că ați făcut o greșeală ca aceasta? Unele persoane nu admit niciodată că au greșit și continuă să găsească argumente noi, și adesea necorespunzătoare pentru a-și susține cauza — așa cum a făcut Eddington cînd s-a opus teoriei găurilor negre. Alții pretind că nu au susținut niciodată părerea greșită sau, dacă au făcut-o, a fost numai pentru a arăta cît este de necorespunzătoare. Mie mi se pare mult mai

bine și mai clar dacă admiteți într-o publicație că ați greșit. Un exemplu bun în acest sens a fost Einstein, care a numit constanta cosmologică, pe care a introdus-o cînd încerca să elaboreze un model static al universului, cea mai mare greșeală a vieții sale.

Întorcîndu-ne la sensul timpului, rămîne întrebarea: De ce observăm că sensurile termodinamic și cosmologic sînt îndreptate în aceeași direcție? Sau, cu alte cuvinte, de ce dezordinea crește în aceeași direcție a timpului cu aceea în care se extinde universul? Dacă se crede că universul se va extinde și apoi se va contracta din nou, așa cum pare să implice propunerea „fără limită", aceasta devine o problemă; de ce trebuie să fim în faza de expansiune și nu în faza de contracție?

Se poate răspunde la aceasta pe baza principiului antropic slab. Condițiile în faza de contracție nu ar fi adecvate pentru existența ființelor inteligente care ar putea pune întrebarea: De ce dezordinea crește în aceeași direcție a timpului în care se extinde universul? Inflația din etapele timpurii ale universului, pe care o prezice propunerea „fără limite", înseamnă că universul trebuie să se extindă cu o rată foarte apropiată de cea critică la care el tocmai evită să sufere din nou un colaps, și astfel nu va suferi un colaps încă foarte mult timp. Pînă atunci toate stelele vor fi ars și protonii și neutronii din ele se vor fi dezintegrat probabil în particule ușoare și radiații. Universul ar fi într-o stare de dezordine completă. Nu ar mai exista un sens termodinamic puternic al timpului. Dezordinea nu ar putea să crească mult deoarece universul ar fi deja într-o stare de dezordine aproape completă. Totuși, pentru ca viața inteligentă să funcționeze este necesar un sens termodinamic puternic. Pentru a supraviețui, ființele umane trebuie să consume hrană, care este o formă ordonată de energie, și o transformă în căldură, care este o formă dezordonată de energie. Astfel, viața inteligentă nu ar putea exista în faza de contracție a

universului. Aceasta explică de ce observăm că sensurile termodinamice și cosmologice ale timpului sînt îndreptate în aceeași direcție. Nu aceasta face ca expansiunea universului să determine creșterea dezordinii. Mai degrabă, condiția „fără limită“ determină creșterea dezordinii și condițiile adecvate pentru viața inteligentă numai în faza de expansiune.

Pentru a rezuma, legile științei nu fac distincție între direcțiile înainte și înapoi ale timpului. Totuși, există cel puțin trei sensuri ale timpului care diferențiază trecutul de viitor. Ele sînt sensul termodinamic, direcția timpului în care dezordinea crește; sensul psihologic, direcția timpului în care ne amintim trecutul și nu viitorul; și sensul cosmologic, direcția timpului în care universul se extinde, nu se contractă. Am arătat că sensul psihologic este esențial același cu sensul termodinamic, astfel că cele două sînt îndreptate întotdeauna în aceeași direcție. Propunerea „fără limite“ pentru univers prezice existența unui sens termodinamic al timpului bine definit, deoarece universul trebuie să înceapă într-o stare omogenă și ordonată. Iar motivul pentru care noi observăm că sensul termodinamic concordă cu sensul cosmologic este că ființele inteligente pot exista numai în faza de expansiune. Faza de contracție va fi necorespunzătoare deoarece nu are un sens termodinamic puternic al timpului.

Progresul rasei umane în înțelegerea universului a stabilit un colț mic de ordine într-un univers din ce în ce mai dezordonat. Dacă vă amintiți fiecare cuvînt din această carte, memoria dumneavoastră a înregistrat cam două milioane de elemente de informații; ordinea din creierul dumneavoastră a crescut cu circa două milioane de unități. Totuși, în timp ce ați citit cartea, ați transformat cel puțin o mie de calorii de energie ordonată, sub formă de hrană, în energie dezordonată, sub formă de căldură pe care ați cedat-o aerului din jur

prin conversație și transpirație. Aceasta va mări dezordinea universului cu circa douăzeci de milioane de milioane de milioane de ori mai mult decît creșterea ordinii din creierul dumneavoastră — și aceasta dacă vă amintiți totul din această carte. În capitolul următor voi încerca să măresc și mai mult ordinea acestei zone explicînd modul în care se încearcă combinarea teoriilor parțiale pe care le-am descris, astfel încît să formeze o teorie unificată care ar acoperi totul în univers.

10
Unificarea fizicii

Așa cum am explicat în capitolul 1, ar fi foarte greu să se construiască o teorie complet unificată pentru tot ce există în univers. În schimb, am progresat elaborînd teorii parțiale care descriu un domeniu limitat de fenomene și neglijează alte efecte sau le aproximează prin anumite numere. (De exemplu, chimia ne permite să calculăm interacțiile atomilor, fără a cunoaște structura internă a nucleului atomului.) În cele din urmă însă, se speră găsirea unei teorii unificate, consistente, complete care ar include ca aproximații toate aceste teorii parțiale și care nu are nevoie să fie ajustată pentru a se potrivi cu faptele, prin alegerea unor valori arbitrare în cadrul teoriei. Căutarea unei teorii de acest fel se numește „unificarea fizicii“. Einstein și-a petrecut majoritatea ultimilor ani căutînd fără succes o teorie unificată, dar nu era încă timpul: existau teorii parțiale pentru gravitație și forța electromagnetică, dar se știa foarte puțin despre forțele nucleare. În plus, Einstein refuza să creadă în realitatea mecanicii cuantice, în ciuda rolului important pe care l-a jucat în dezvoltarea sa. Și totuși, se pare că principiul de incertitudine este o caracteristică fundamentală a universului în care trăim. Prin urmare, o teorie unificată reușită trebuie să conțină acest principiu.

Așa cum voi arăta, perspectivele găsirii unei astfel de teorii par a fi mult mai bune acum deoarece știm mult mai multe despre univers. Dar trebuie să nu fim prea încrezători — am mai avut speranțe false! La începutul acestui secol, de exemplu, s-a crezut că totul

putea fi explicat în funcție de proprietățile materiei continue, cum sînt elasticitatea și conducția căldurii. Descoperirea structurii atomice și a principiului de incertitudine a pus categoric capăt acestei idei. Apoi, în 1928, fizicianul laureat al premiului Nobel, Max Born, a spus unui grup de vizitatori ai Universității Göttingen: „Fizica, așa cum o cunoaștem astăzi, va fi depășită peste șase luni.“ Încrederea sa se baza pe descoperirea recentă de către Dirac a ecuației care guverna electronul. Se credea că o ecuație similară ar guverna protonul, care era cealaltă particulă cunoscută în acel moment, ceea ce ar fi fost sfîrșitul fizicii teoretice. Totuși, descoperirea neutronilor și a forțelor nucleare a contrazis și această părere. Spunînd aceasta, eu tot cred că există motive să sperăm că ne aflăm aproape de capătul căutării legilor finale ale naturii.

În capitolele anterioare am descris relativitatea generalizată, teoria parțială a gravitației și teoriile parțiale care guvernează interacțiile tari, interacțiile slabe și forțele electromagnetice. Ultimele trei se pot combina în așa-numitele mari teorii unificate, sau MTU, care nu sînt foarte satisfăcătoare deoarece nu includ gravitația și deoarece ele conțin mai multe mărimi cum sînt masele relative ale diferitelor particule, care nu pot fi prezise de teorie, ci a trebuit să fie alese astfel încît să se potrivească observațiilor. Principala dificultate în găsirea unei teorii care unește gravitația cu celelalte forțe este că relativitatea generalizată este o teorie „clasică“; adică ea nu conține principiul de incertitudine din mecanica cuantică. Pe de altă parte, celelalte teorii parțiale depind în mod esențial de mecanica cuantică. Prin urmare, un prim pas necesar este de a combina relativitatea generalizată cu principiul de incertitudine. Așa cum am văzut, acesta poate avea consecințe remarcabile cum sînt faptul că găurile negre nu sînt negre și universul nu are singularități, ci este complet independent și fără limite. Problema este, așa cum am explicat în capitolul 7, că principiul de incer-

titudine înseamnă că și spațiul „gol" este plin cu perechi de particule și antiparticule virtuale. Aceste perechi ar avea o cantitate infinită de energie și deci, conform faimoasei ecuații a lui Einstein, $E = mc^2$, ele ar avea o masă infinită. Atracția lor gravitațională ar curba universul către o dimensiune infinit mică.

Infinități similare, aparent absurde, se produc în celelalte teorii parțiale, dar în toate aceste cazuri infinitățile pot fi anulate de un proces numit renormalizare. Aceasta implică anularea infinităților prin introducerea altor infinități. Deși această tehnică este cam dubioasă din punct de vedere matematic, ea pare să fie bună în practică și a fost utilizată în aceste teorii pentru a face preziceri care concordă cu observațiile cu un grad de precizie extraordinar. Renormalizarea, însă, are un neajuns serios din punctul de vedere al încercării de a găsi o teorie completă, deoarece ea înseamnă că valorile reale ale maselor și intensităților forțelor nu pot fi prezise din teorie, ci trebuie să fie alese astfel încît să se potrivească observațiilor.

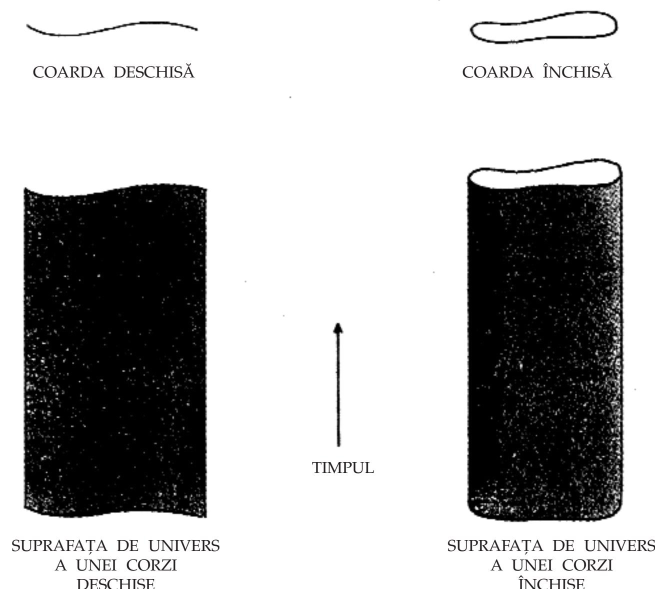
În încercarea de a îngloba principiul de incertitudine în relativitatea generalizată, există numai două mărimi care pot fi ajustate: intensitatea gravitației și valoarea constantei cosmologice. Prin urmare, există o teorie care pare să prezică faptul că anumite mărimi cum este curbura spațiu-timpului sînt într-adevăr infinite și totuși aceste mărimi se pot observa și măsura ca fiind perfect finite! Această problemă care apare la combinarea relativității generalizate și principiului de incertitudine a fost bănuită de cîtva timp, dar a fost în final confirmată de calcule detaliate în 1972. Patru ani mai tîrziu a fost sugerată o soluție posibilă, numită „supergravitație". Ideea era de a combina particula de spin 2 numită graviton, care poartă forța gravitațională, cu anumite particule noi de spin 3/2, 1, 1/2 și 0. Într-un fel, toate aceste particule ar putea fi considerate ca aspecte diferite ale aceleiași „superparticule", unificînd astfel particulele de materie de spin 1/2 și

3/2 cu particulele purtătoare de forță de spin 0, 1 și 2. Perechile particulă/antiparticulă virtuale de spin 1/2 și 3/2 ar avea energie negativă și ar tinde, deci, să anuleze energia pozitivă a perechilor virtuale de spin 2, 1 și 0. Aceasta ar determina anularea multor infinități posibile, dar se suspecta că ar mai rămîne unele infinități. Totuși, calculele necesare pentru a afla dacă există sau nu infinități rămase erau atît de lungi și grele încît nimeni nu era pregătit să le efectueze. Chiar cu un computer, s-a calculat că ar fi necesari cel puțin patru ani și ar exista mari șanse de a face cel puțin o greșeală, dacă nu mai multe. Astfel, răspunsul corect s-ar cunoaște numai dacă altcineva ar repeta calculul și ar obține același răspuns, iar acest lucru nu pare foarte probabil!

În ciuda acestor probleme și a faptului că particulele din teoria supergravitației nu par să se potrivească cu particulele observate, majoritatea oamenilor de știință credeau că supergravitația era probabil răspunsul corect la problema unificării fizicii. Părea modul cel mai bun de unificare a gravitației cu celelalte forțe. Totuși, în 1984, a avut loc o schimbare remarcabilă de opinie în favoarea a ceea ce se numește teoriile corzilor (*String Theories*). În aceste teorii obiectele de bază nu sînt particulele, care ocupă un singur punct în spațiu, ci corpuri care au lungime dar nu au altă dimensiune, ca o bucată de coardă infinit de subțire. Aceste corzi pot avea capete (așa-numitele corzi deschise) sau pot fi unite cu ele însele în bucle închise (corzi închise) (fig. 10.1 și fig. 10.2). O particulă ocupă un punct în spațiu în fiecare moment. Astfel, istoria sa în spațiu-timp poate fi prezentată printr-o linie („linia de univers"). Pe de altă parte, o coardă ocupă o linie în spațiu în fiecare moment. Astfel, istoria sa în spațiu-timp este o suprafață bi-dimensională numită „suprafață de univers". (Orice punct de pe această suprafață de univers poate fi descris de două numere: unul care specifică timpul și celălalt poziția punctului de pe coardă.)

Suprafața de univers a unei corzi deschise este o bandă; marginile sale reprezintă traiectoriile în spațiu-timp ale capetelor corzii (fig. 10.1). Suprafața de univers a unei corzi închise este un cilindru sau un tub (fig. 10.2); o secțiune în tub este un cerc, care reprezintă poziția corzii într-un anumit moment.

Două bucăți de coardă se pot uni formînd o singură coardă; în cazul corzilor deschise ele se unesc pur și simplu la capete (fig. 10.3), în timp ce în cazul corzilor închise ele sînt ca două picioare care se unesc pe o pereche de pantaloni (fig. 10.4). În mod asemănător, o singură bucată de coardă se poate împărți în două corzi. În teoria corzilor, ceea ce înainte erau considerate particule acum sînt imaginate ca unde care se propagă de-a lungul corzii, ca undele de pe coarda vibrantă a unui zmeu. Emisia sau absorbția unei par-



FIGURILE 10.1 și 10.2

ticule de către alta corespunde divizării sau unirii corzilor. De exemplu, forța gravitațională a soarelui asupra pămîntului a fost imaginată în teoria particulelor ca fiind cauzată de emiterea unui graviton de o particulă din soare și absorbția sa de o particulă de pe pămînt (fig. 10.5). În teoria corzilor acest proces corespunde unui tub sau unei conducte de forma H (fig. 10.6) (într-un fel teoria corzilor este ca o lucrare de instalații). Cele două laturi verticale ale H-ului corespund particulelor din soare și din pămînt și bara orizontală corespunde gravitonului care se deplasează între ele.

Teoria corzilor are o istorie curioasă. Ea a fost inventată inițial la sfîrșitul anilor 1960 în încercarea de a găsi o teorie care să descrie interacția tare. Ideea era că particule ca protonul și neutronul ar putea fi considerate ca undele dintr-o coardă. Interacțiile tari dintre particule ar corespunde bucăților de coardă care trec prin celelalte bucăți de coardă, ca în pînza unui păianjen. Pentru ca această teorie să dea valoarea observată a interacției tari între particule, corzile trebuie să fie ca benzile de cauciuc cu un efort de întindere de circa zece tone.

În 1974 Joël Scherk de la Paris și John Schwarz de la Institutul de Tehnologie din California au publicat o lucrare în care au arătat că teoria corzilor ar putea descrie forța gravitațională, dar numai dacă tensiunea în coardă ar fi mult mai mare, de circa o mie de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de tone (1 urmat de treizeci și nouă de zerouri). Prezicerile teoriei corzilor ar fi exact aceleași cu cele ale relativității generalizate la scări de lungime normale, dar ele ar diferi la distanțe foarte mici, mai mici decît o mie de milioane de milioane de milioane de milioane de milionimi dintr-un centimetru (un centimetru împărțit la 1 urmat de treizeci și trei de zerouri). Lucrării lor nu i s-a acordat însă prea mare atenție deoarece chiar atunci majoritatea oamenilor de știință abandonaseră teoria inițială a corzilor pentru interacția

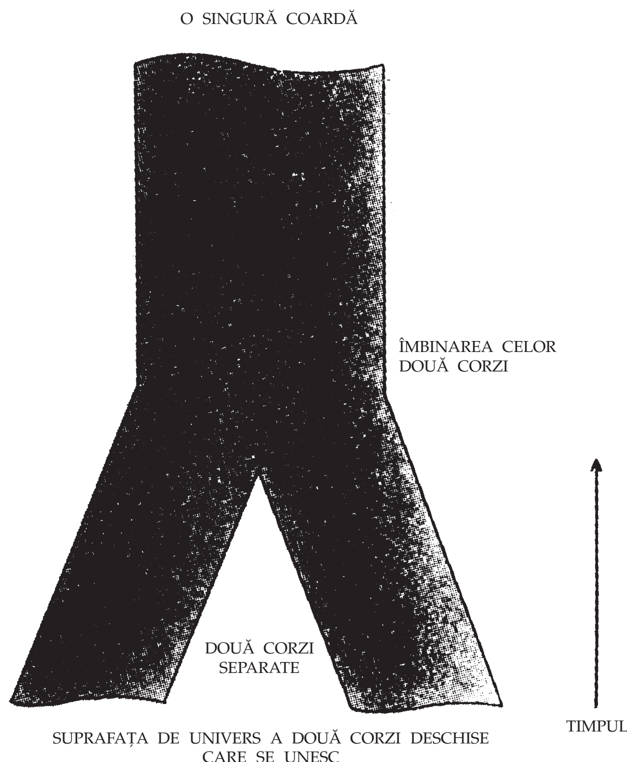


FIGURA 10.3

tare, în favoarea teoriei bazate pe quarci și gluoni, care părea să se potrivească mult mai bine cu observațiile. Scherk a murit în împrejurări tragice (el suferea de diabet și a intrat în comă într-un moment cînd nu era nimeni în preajmă să-i facă o injecție cu insulină). Astfel Schwarz a rămas singurul susținător ale teoriei corzilor, dar acum cu o valoare mult mai mare propusă pentru tensiunea în coardă.

În 1984, interesul față de corzi a înviat brusc, aparent din două motive. Unul era că oamenii nu progresaseră prea mult pentru a arăta că supergravitația era finită

sau că ea ar putea explica tipurile de particule pe care le observăm. Celălalt era publicarea lucrării lui John Schwarz și Mike Green de la Queen Mary College, Londra, care arăta că teoria corzilor putea explica existența particulelor care aveau rotație intrinsecă spre stînga, la fel cu unele particule pe care le observăm. Indiferent care au fost motivele, curînd un mare număr de persoane au început să lucreze la teoria corzilor și a fost elaborată o nouă versiune, așa-numita coardă heterotică, ce părea că ar putea să explice tipurile de particule pe care le observăm.

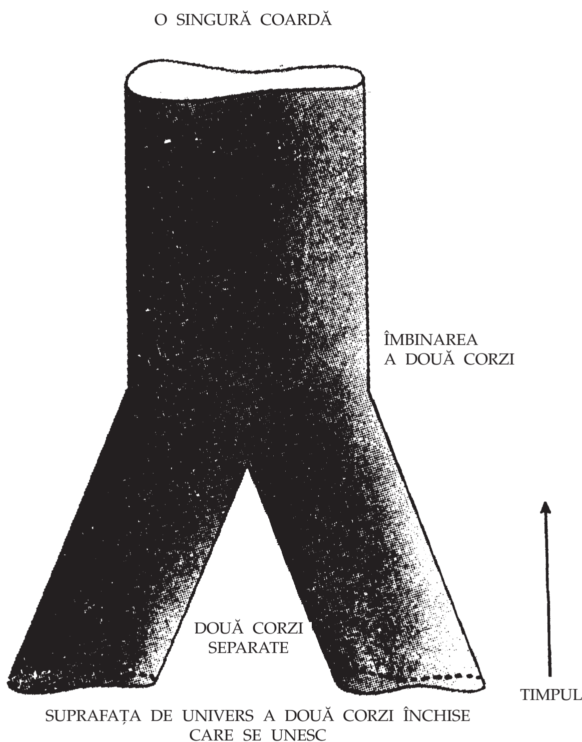
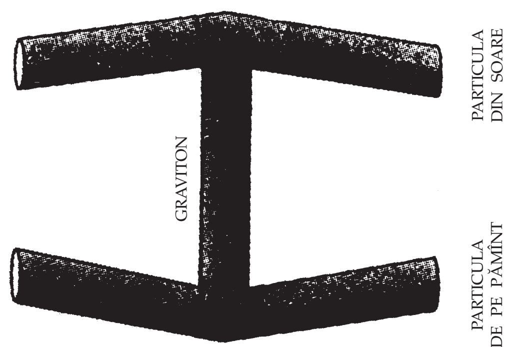
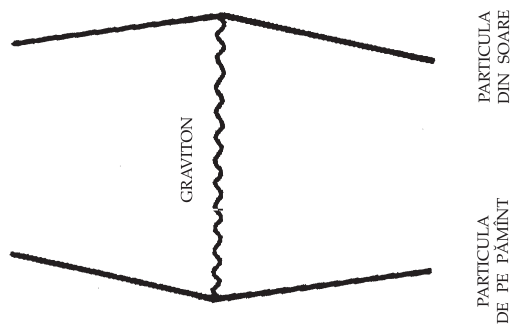


FIGURA 10.4







FIGURILE 10.5 și 10.6

Și teoria corzilor conduce la infinități, dar se crede că ele se vor anula toate în versiuni cum este coarda heterotică (deși acest lucru nu este încă sigur). Teoriile corzilor însă au o problemă mai mare: ele par să corespundă numai dacă spațiu-timpul are zece sau douăzeci și șase de dimensiuni, în loc de cele patru obișnuite! Desigur, dimensiunile suplimentare ale spațiu-timpului reprezintă ceva obișnuit în literatura științifico-fantastică; într-adevăr, ele sînt aproape o necesitate, deoarece altfel faptul că relativitatea implică imposibilitatea de a călători mai repede decît lumina înseamnă că deplasarea între stele și galaxii ar dura prea mult. Ideea literaturii științifico-fantastice este că ar putea fi posibil să o iei pe scurtătură printr-o dimensiune mai mare. Acest lucru se poate ilustra astfel: Imaginați-vă că spațiul în care trăim are numai două dimensiuni și este curbat ca suprafața unui inel sau tor (fig. 10.7). Dacă ați fi pe o parte interioară a inelului și ați dori să ajungeți într-un punct de pe cealaltă parte ar trebui să mergeți de jur împrejur pe partea interioară a inelului. Totuși, dacă v-ați putea deplasa în a treia dimensiune, ați putea s-o luați de-a dreptul.

De ce nu observăm toate aceste dimensiuni suplimentare, dacă ele chiar există? De ce vedem doar trei dimensiuni spațiale și una temporală? Există ipoteza că celelalte dimensiuni sînt curbate într-un spațiu cu dimensiunea foarte mică, ceva cam ca un milion de milioane de milioane de milioane de milionimi dintr-un centimetru. Aceasta este atît de mică încît pur și simplu nu o observăm; vedem numai o dimensiune temporală și trei spațiale în care spațiu-timpul este destul de neted. Este ca suprafața unei portocale: dacă vă uitați de aproape, este toată curbată și încrețită, dar dacă o priviți de la distanță, nu vedeți umflăturile și pare a fi netedă. La fel este și cu spațiu-timpul: la scară foarte mică el are zece dimensiuni și este puternic curbat, dar la scară mai mare nu vedeți curbura dimensiunilor suplimentare. Dacă această imagine este corectă, ea

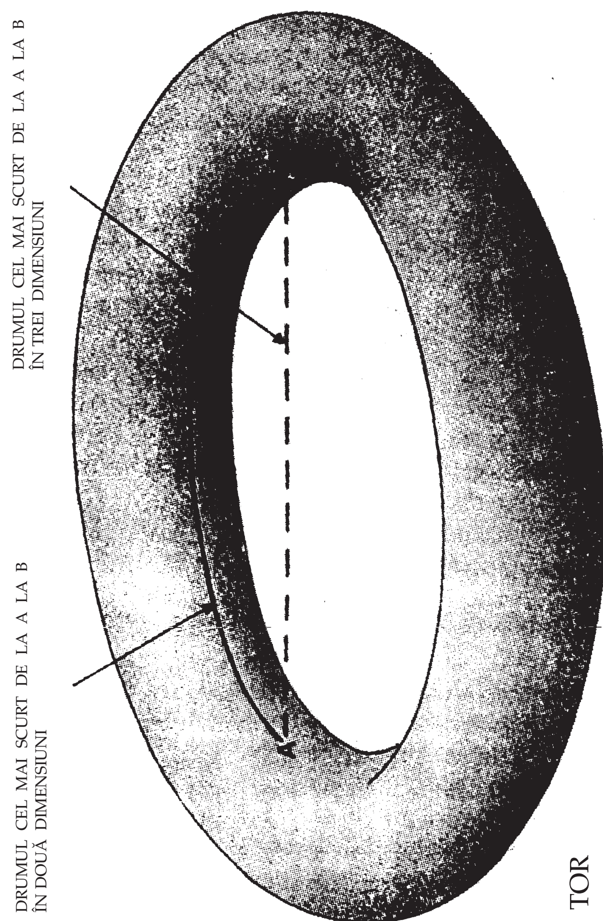


FIGURA 10.7

înseamnă vești proaste pentru călătorii în spațiu: dimensiunile suplimentare ar fi mult prea mici pentru a permite trecerea navei spațiale. Totuși, ea ridică o altă problemă majoră. De ce ar trebui să fie curbate

într-o sferă mică doar unele dimensiuni și nu toate? Probabil, în universul foarte timpuriu toate dimensiunile ar fi fost foarte curbate. Dar ce a determinat ca o dimensiune temporală și trei spațiale să se îndrepte, în timp ce celelalte au rămas foarte curbate?

Un răspuns posibil este principiul antropic. Două dimensiuni spațiale nu par a fi suficiente pentru a permite dezvoltarea unor ființe complicate ca noi. De exemplu, animalele bi-dimensionale care ar trăi pe un pămînt unidimensional ar trebui să se cațere unul peste celălalt pentru a trece unul de altul. Dacă o creatură bi-dimensională mănîncă ceva ceea ce nu poate digera complet, ar trebui să elimine resturile pe aceeași cale pe care le-a înghițit pentru că dacă ar exista o trecere prin corp, ea ar împărți creatura în două jumătăți separate; ființa noastră bi-dimensională s-ar desface în bucăți (fig. 10.8). În mod asemănător, este dificil de văzut cum ar arăta circulația sîngelui într-o creatură bi-dimensională.

Ar fi și alte probleme pentru mai mult de trei dimensiuni spațiale. Forța gravitațională dintre două corpuri ar descrește mai rapid cu distanța decît o face în trei dimensiuni. (În trei dimensiuni, forța gravitațională scade la 1/4 dacă se dublează distanța. În patru dimensiuni ea ar scade la 1/8, în cinci dimensiuni la 1/16 ș.a.m.d.) Semnificația acestui fapt este că orbitele planetelor (cum este pămîntul) în jurul soarelui ar fi instabile: cea mai mică perturbație de la o orbită circulară (cum este aceea cauzată de atracția gravitațională a altor planete) ar avea ca rezultat deplasarea în spirală a pămîntului depărtîndu-se sau apropiindu-se de soare. Noi am îngheța sau ne-am arde. De fapt, aceeași comportare a gravitației cu distanța într-un spațiu cu mai mult de trei dimensiuni înseamnă că soarele nu ar putea să existe într-o stare stabilă în care presiunea echilibrează gravitația. El s-ar desface în bucăți sau ar suferi un colaps formînd o gaură neagră. În oricare din aceste cazuri, el nu ar mai fi util ca sursă

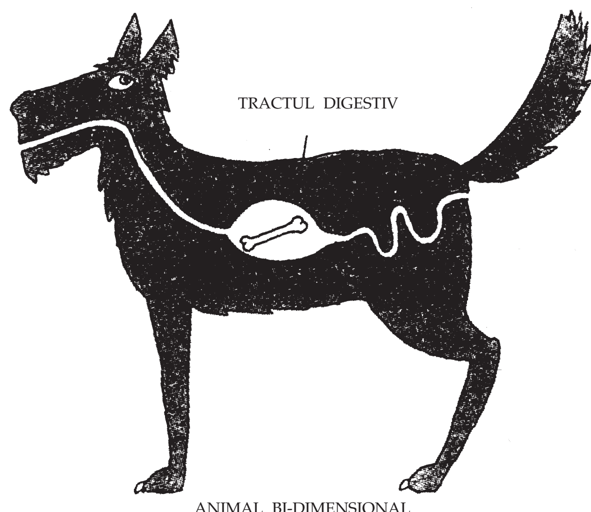


FIGURA 10.8

de căldură și lumină pentru viața de pe Pămînt. La o scară mai mică, forțele electrice care determină electronii să se deplaseze pe orbite în jurul nucleului unui atom s-ar comporta în același fel cu forțele gravitaționale. Astfel, electronii ar ieși din atom sau s-ar deplasa în spirală spre nucleu. În orice caz, nu ar exista atomi așa cum îi știm.

Este clar că viața, cel puțin așa cum o știm, poate exista numai în regiuni ale spațiu-timpului în care o dimensiune temporală și trei dimensiuni spațiale nu sînt foarte mult curbate. Aceasta ar însemna că principiul antropic slab se poate utiliza cu condiția să se arate că teoria corzilor permite cel puțin existența unor astfel de regiuni ale universului — se pare că într-adevăr teoria corzilor face acest lucru. Pot exista și alte regiuni ale universului sau ale altor universuri (orice ar însemna acestea) în care toate dimensiunile sînt foarte curbate sau în care sînt aproape întinse mai

mult de patru dimensiuni, dar acolo nu ar exista ființe inteligente care să observe numerele diferite ale dimensiunilor efective.

În afară de problema numărului dimensiunilor pe care le are spațiu-timpul, teoria corzilor mai are și alte cîteva probleme care trebuie rezolvate înainte de a fi aclamată ca teoria unificată finală a fizicii. Nu știm încă dacă toate infiniturile se anulează reciproc sau modul exact în care undele din corzi se leagă de tipurile de particule pe care le observăm. Oricum, este probabil că răspunsurile la aceste probleme se vor găsi în următorii ani, și că spre sfîrșitul secolului vom ști dacă teoria corzilor este într-adevăr teoria unificată mult căutată a fizicii.

Dar poate exista cu adevărat o teorie unificată de acest fel? Sau poate alergăm după un miraj? Par să existe trei posibilități:

1) Există într-adevăr o teorie unificată completă, pe care o vom descoperi într-o zi dacă sîntem destul de deștepți.
2) Nu există o teorie finală a universului, ci doar o succesiune infinită de teorii care descriu universul din ce în ce mai exact.
3) Nu există o teorie a universului; evenimentele nu pot fi prezise decît într-o anumită măsură, ele se produc în mod întîmplător și arbitrar.

Unii ar susține a treia posibilitate bazîndu-se pe faptul că dacă ar exista un set complet de legi aceasta ar încălca libertatea lui Dumnezeu de a-și schimba părerea și a interveni în univers. Este ca un vechi paradox: Poate Dumnezeu să facă o piatră atît de grea încît el să nu o poată ridica? Dar ideea că Dumnezeu ar putea dori să-și schimbe părerea este un exemplu de erezie, menționat de Sf. Augustin, de a imagina pe Dumnezeu ca pe o ființă care există în timp: timpul este numai o proprietate a universului pe care Dumnezeu l-a creat. Probabil, el știa ce intenționa atunci cînd l-a făcut!

O dată cu apariția mecanicii cuantice, am ajuns să recunoaștem că evenimentele nu pot fi prezise exact, ci există întotdeauna un anumit grad de incertitudine. Dacă se dorește, se poate atribui această caracteristică de întîmplare intervenției lui Dumnezeu, dar ar fi un fel foarte ciudat de intervenție: nu există vreo dovadă că ea are un scop. Într-adevăr, dacă ar exista, prin definiție ea nu ar fi întîmplătoare. În timpurile moderne, am eliminat efectiv cea de a treia posibilitate de mai sus redefinind scopul științei: scopul nostru este de a formula un set de legi care să ne permită să prezicem evenimentele numai pînă la o limită determinată de principiul de incertitudine.

A doua posibilitate, că există o succesiune infinită de teorii din ce în ce mai rafinate, este în concordanță cu toată experiența noastră de pînă acum. În multe ocazii am mărit sensibilitatea măsurărilor noastre sau am făcut o nouă clasă de observații, numai pentru a descoperi noi fenomene care nu erau prezise de teoria existentă și pentru a le explica a trebuit să dezvoltăm o teorie și mai avansată. Prin urmare, nu ar fi foarte surprinzător dacă generația actuală de mari teorii unificate ar greși pretinzînd că nu se va întîmpla nimic nou esențial între energia de unificare electroslabă de circa 100 GeV și energia marii unificări de circa o mie de milioane de milioane de GeV. Ne putem aștepta într-adevăr să găsim cîteva straturi noi de structură, mai fundamentale decît quarcii și electronii pe care îi considerăm acum particule „elementare".

Totuși, se pare că gravitația poate da o limită acestui șir de „cutii în cutii". Dacă există o particulă cu energia peste ceea ce se numește energia Planck, zece milioane de milioane de milioane de GeV (1 urmat de nouăsprezece zerouri), masa sa ar fi atît de concentrată încît s-ar desprinde singură de restul universului și ar forma o gaură neagră mică. Astfel, se pare că șirul de teorii din

ce în ce mai rafinate trebuie să aibă o limită pe măsură ce trecem la energii din ce în ce mai înalte; astfel că ar trebui să existe o teorie finală a universului. Desigur, energia Planck reprezintă un drum lung de la energiile în jur de o sută de GeV, valoarea cea mai mare pe care o putem produce în laborator în prezent. Nu vom putea sări această distanță cu acceleratoarele de particule din viitorul previzibil! Totuși, etapele foarte timpurii ale universului reprezintă un loc unde trebuie să se fi produs aceste energii. Cred că există o șansă bună ca studiul universului timpuriu și cerințele consistenței matematice să ne conducă la o teorie unificată completă în timpul vieții unora dintre noi care trăim astăzi, presupunînd întotdeauna că nu ne distrugem mai înainte.

Ce ar însemna dacă am descoperi într-adevăr teoria finală a universului? Așa cum am explicat în capitolul 1 nu am fi niciodată destul de siguri că am găsit cu adevărat teoria corectă, deoarece teoriile nu pot fi dovedite. Dar dacă teoria este consistentă matematic și face întotdeauna preziceri care concordă cu observațiile, putem avea încredere că ea este cea corectă. Ea ar duce la sfîrșit un capitol lung și glorios din istoria luptei intelectuale a umanității de a înțelege universul. Dar ea ar revoluționa, de asemenea, înțelegerea de către persoanele obișnuite a legilor care guvernează universul. În timpul lui Newton era posibil ca o persoană educată să stăpînească întreaga cunoaștere umană, cel puțin în linii mari. Dar de atunci, viteza dezvoltării științei a făcut acest lucru imposibil. Deoarece teoriile se schimbă întotdeauna pentru a explica noile observații, ele nu sînt niciodată corect sistematizate sau simplificate astfel încît să poată fi înțelese de oamenii obișnuiți. Trebuie să fiți specialist, și chiar și atunci puteți spera să aveți numai o stăpînire corectă a unei părți mici din teoriile științifice. În plus, rata progre-

sului este atît de rapidă încît ceea ce se învață la școală sau la universitate este întotdeauna puțin depășit. Doar puțini oameni pot ține pasul cu avansul rapid al frontierelor cunoașterii și ei trebuie să îi dedice tot timpul și să se specializeze într-o problemă restrînsă. Restul populației are prea puțină idee despre progresele făcute sau despre interesul pe care ele îl generează. Acum șaptezeci de ani, dacă îl credem pe Eddington, numai două persoane înțelegeau teoria generală a relativității. Astăzi, zeci de mii de absolvenți de universitate o înțeleg și multe milioane de oameni cunosc cel puțin ideea. Dacă s-ar descoperi o teorie unificată completă, ar fi doar o chestiune de timp înainte de a fi sistematizată și simplificată în același fel și predată în școli, cel puțin în linii mari. Atunci am putea avea o oarecare înțelegere a legilor care guvernează universul și sînt răspunzătoare de existența noastră.

Chiar dacă descoperim o teorie unificată completă nu înseamnă că am putea să prezicem evenimentele în general, din două motive. Primul este limitarea pe care o impune principiul de incertitudine din mecanica cuantică asupra puterilor noastre de prezicere. Nu putem face nimic pentru a ocoli aceasta. În practică însă această primă limitare este mai puțin restrictivă decît a doua. Ea provine din faptul că nu putem rezolva exact ecuațiile teoriei, cu excepția unor situații foarte simple. (Nu putem rezolva exact nici măcar problema mișcării a trei corpuri în teoria gravitației a lui Newton și dificultatea crește cu numărul de corpuri și complexitatea teoriei.) Cunoaștem deja legile care guvernează comportarea materiei în toate condițiile cu excepția celor extreme. În special, cunoaștem legile de bază care stau la baza chimiei și biologiei. Și totuși nu am redus aceste subiecte la stadiul de probleme rezolvate; pînă acum, nu am avut mare succes în prezicerea comportamentului uman din ecuațiile matematice! Astfel,

chiar dacă găsim un set complet de legi fundamentale, ar mai trebui ani de activitate intelectuală susținută pentru a elabora metode mai bune de aproximare, încît să putem face preziceri utile ale rezultatelor probabile ale unor situații complicate și realiste. O teorie unificată completă, consistentă, reprezintă numai primul pas: scopul nostru este *înțelegerea* completă a evenimentelor din jurul nostru și a propriei noastre existențe.

11
Concluzii

Ne găsim într-o lume uimitoare. Dorim să găsim un sens pentru ceea ce vedem în jurul nostru și întrebăm: Care este natura universului? Care este locul nostru în univers și de unde a apărut el? De ce este așa cum este?

Pentru a încerca să răspundem la aceste întrebări adoptăm unele „imagini ale universului". Teoria supercorzilor este la fel ca un turn infinit de broaște țestoase care susțin pămîntul plat. Ambele sînt teorii ale universului deși prima este mult mai matematică și mai precisă decît ultima. Pentru nici una nu există dovezi experimentale: nimeni nu a văzut o broască țestoasă gigantică ce duce pămîntul în spate, dar nici nu a văzut o supercoardă. Totuși, teoria broaștelor țestoase nu este o teorie științifică bună deoarece prezice că oamenii pot cădea de pe marginea lumii. Acest lucru nu este în concordanță cu experimentul, în afară de cazul persoanelor care se presupune că au dispărut în Triunghiul Bermudelor!

Primele încercări teoretice de a descrie și explica universul conțineau ideea că evenimentele și fenomenele naturale erau controlate de spirite cu emoții umane, care acționau într-o manieră foarte umană și imprevizibilă. Aceste spirite locuiau în lucrurile naturale, cum sînt rîurile și munții, inclusiv pe corpuri cerești, ca soarele și luna. Ele trebuiau îmbunate și trebuia cerută bunăvoința lor pentru a se asigura fertilitatea solului și trecerea anotimpurilor. Treptat însă trebuie să se fi observat că existau anumite regularități:

soarele răsărea întotdeauna la est și apunea la vest, indiferent dacă se făceau sacrificii zeului soare. În plus, soarele, luna și planetele urmau pe cer traiectorii precise, care puteau fi prezise cu o precizie considerabilă. Soarele și luna puteau încă să fie zei, dar erau zei care ascultau de legi stricte, aparent fără excepții, dacă nu se ține cont de povești de felul celei în care Iosua a oprit soarele.

La început, aceste regularități și legi erau evidente numai în astronomie și în alte cîteva științe. Totuși, pe măsură ce civilizația a evoluat și în special în ultimii 300 de ani, au fost descoperite din ce în ce mai multe regularități și legi. Succesul acestor legi l-a condus pe Laplace la începutul secolului al nouăsprezecelea să postuleze determinismul științific, adică el a sugerat că ar exista un set de legi care ar determina precis evoluția universului, dacă se cunoaște configurația sa la un moment dat.

Determinismul lui Laplace era incomplet în două moduri. El nu spunea cum trebuie alese legile și nu preciza configurația inițială a universului. Acestea erau lăsate lui Dumnezeu. Dumnezeu ar alege modul în care a început universul și legile pe care le respectă acesta, dar el nu ar interveni în univers o dată ce a fost pornit. De fapt, Dumnezeu era limitat la zonele pe care știința secolului nouăsprezece nu le înțelegea.

Știm acum că speranțele lui Laplace privind determinismul nu pot fi realizate, cel puțin așa cum le-a crezut el. Principiul de incertitudine din mecanica cuantică implică faptul că anumite perechi de mărimi, cum sînt poziția și viteza unei particule, nu pot fi ambele prezise precis.

Mecanica cuantică tratează această situație printr-o clasă de teorii cuantice în care particulele nu au poziții și viteze bine definite, ci sînt reprezentate de o undă. Aceste teorii cuantice sînt deterministe în sensul că dau legi pentru evoluția undei în timp. Astfel, dacă se cunoaște unda la un moment dat, ea poate fi calcu-

lată în orice alt moment. Elementul imprevizibil, întîmplător apare numai atunci cînd încercăm să interpretăm unda în funcție de pozițiile și vitezele particulelor. Dar poate că este greșeala noastră: poate nu există poziții și viteze ale particulelor, ci numai unde. Iar noi doar încercăm să potrivim undele la ideile noastre preconcepute despre poziții și viteze. Nepotrivirea care rezultă este cauza aparentei lipse de predictibilitate.

De fapt, am redefinit sarcina științei ca fiind descoperirea legilor care ne vor permite să prezicem evenimente pînă la limita stabilită de principiul de incertitudine. Rămîne însă întrebarea: Cum sau de ce au fost alese legile și starea inițială a universului?

În cartea de față am pus un accent deosebit pe legile care guvernează gravitația, deoarece gravitația determină structura la scară mare a universului, chiar dacă este cea mai slabă dintre cele patru categorii de forțe. Legile gravitației erau incompatibile cu părerea menținută pînă destul de recent că universul nu se schimbă cu timpul: faptul că gravitația este întotdeauna o forță de atracție înseamnă că universul trebuie să se extindă sau să se contracte. Conform teoriei generale a relativității, trebuie să fi existat în trecut o stare de densitate infinită, Big Bang-ul, care ar fi fost un început efectiv al timpului. În mod asemănător, dacă întregul univers suferea din nou un colaps, trebuie să existe o altă stare de densitate infinită în viitor, Big Crunch, care ar reprezenta un sfîrșit al timpului. Chiar dacă întregul univers nu suferă un nou colaps, ar exista singularități în regiuni localizate care ar suferi colapsul formînd găurile negre. Aceste singularități ar reprezenta un sfîrșit al timpului pentru orice cade în gaura neagră. La Big Bang și la alte singularități, toate legile ar fi încetat să funcționeze, astfel că Dumnezeu ar fi avut deplina libertate de a alege ce s-a întîmplat și modul în care începea universul.

Atunci cînd combinăm mecanica cuantică cu teoria relativității, se pare că apare o nouă posibilitate care

nu exista înainte: ca spațiul și timpul să formeze împreună un spațiu cvadri-dimensional, finit, fără singularități sau limite, ca suprafața pămîntului, dar cu mai multe dimensiuni. Se pare că această idee ar putea explica multe dintre caracteristicile observate ale universului, cum sînt omogenitatea sa la scară mare și abaterile de la omogenitate la scară mică, ca galaxiile, stelele și chiar ființele umane. Ea ar putea chiar să explice sensul timpului pe care îl observăm. Dar, dacă universul este complet independent, fără singularități sau limite și descris complet de o teorie unificată, aceasta are implicații profunde pentru rolul de Creator al lui Dumnezeu.

Einstein a pus odată întrebarea: „Cît de mult a avut Dumnezeu de ales cînd a construit universul?" Dacă ipoteza „fără limite" este corectă, el nu a avut deloc libertatea de a alege condițiile inițiale. Totuși, el ar fi avut încă libertatea de a alege legile de care ascultă universul. Aceasta însă poate să nu fi fost chiar o alegere; poate exista doar una, sau un număr mic de teorii unificate complete, cum este teoria corzilor heterotice, care sînt independente și permit existența unor structuri complicate cum sînt ființele umane care pot cerceta legile universului și care pot pune întrebări privind natura lui Dumnezeu.

Chiar dacă există o singură teorie unificată posibilă, ea este doar un set de reguli și ecuații. Ce este ceea ce animă ecuațiile și le face să descrie universul? Abordarea obișnuită a științei construcției unui model matematic nu poate răspunde la întrebări de genul: de ce trebuie să existe un univers pe care să-l descrie modelul? De ce există universul? Teoria unificată este atît de restrictivă încît determină propria lui existență? Sau el a avut nevoie de un creator și dacă da, a avut acesta un efect asupra universului? Și cine l-a creat pe el?

Pînă acum majoritatea oamenilor de știință au fost prea ocupați cu elaborarea noilor teorii care descriu ce este universul, pentru a pune întrebarea de ce. Pe

de altă parte, oamenii a căror treabă este să întrebe de ce, filozofii, nu au putut ține pasul cu progresul teoriilor științifice. În secolul al optsprezecelea, filozofii considerau întreaga cunoaștere umană, inclusiv știința, ca fiind domeniul lor și discutau întrebări ca: A avut universul un început? Totuși, în secolele al nouăsprezecelea și al douăzecilea, știința a devenit prea tehnică și matematică pentru filozofi, sau pentru oricine altcineva cu excepția cîtorva specialiști. Filozofii au redus atît de mult obiectul cercetărilor lor, încît Wittgenstein, cel mai faimos filozof al acestui secol, a spus: „Singura sarcină rămasă filozofiei este analiza limbajului.“ Ce decădere de la marea tradiție a filozofiei de la Aristotel la Kant!

Totuși, dacă descoperim într-adevăr o teorie completă, ea trebuie să poată fi înțeleasă în mare, cu timpul, în principiu de oricine, nu numai de cîțiva oameni de știință. Atunci noi toți: filozofi, oameni de știință și oameni obișnuiți, ar trebui să putem lua parte la discutarea problemei: de ce existăm noi și universul. Dacă găsim răspuns la această întrebare, el ar reprezenta triumful final al rațiunii umane — pentru că atunci am cunoaște gîndirea lui Dumnezeu.

Albert Einstein

Legătura lui Einstein cu politica bombei nucleare este bine cunoscută; el a semnat faimoasa scrisoare către președintele Franklin Roosevelt care a convins Statele Unite să ia ideea în serios și s-a angajat în eforturile de după război de a împiedica războiul nuclear. Dar acestea nu au fost doar acțiuni izolate ale unui savant atras în lumea politicii. Viața lui Einstein a fost, de fapt, pentru a folosi propriile sale cuvinte, „împărțită între politică și ecuații".

Prima activitate politică a lui Einstein a apărut în timpul primului război mondial, cînd era profesor la Berlin. Bolnav de marea pierdere de vieți omenești pe care o vedea, el s-a implicat în demonstrațiile împotriva războiului. Faptul că susținea nesupunerea civilă și încuraja public persoanele care refuzau încorporarea l-a făcut să fie puțin iubit de colegii săi. Apoi, după război, și-a îndreptat eforturile spre reconciliere și îmbunătățirea relațiilor internaționale. Nici aceasta nu l-a făcut popular și curînd activitatea sa politică a făcut dificil pentru el să viziteze Statele Unite, chiar pentru a ține conferințe.

A doua mare cauză a lui Einstein a fost sionismul. Deși era evreu prin naștere, Einstein a respins ideea publică de Dumnezeu. Totuși, conștiința existenței antisemitismului atît înainte cît și în timpul primului război mondial l-a condus treptat la identificarea cu comunitatea evreiască și mai tîrziu a devenit un suporter deschis al sionismului. Din nou lipsa de popularitate nu l-a oprit să spună ce gîndea. Teoriile sale au fost

atacate; s-a înființat chiar o organizație anti-Einstein. Un om a fost condamnat pentru că îi incita pe alții să-l omoare pe Einstein (și a fost amendat cu 6 dolari). Dar Einstein era calm; cînd a fost publicată o carte intitulată *100 de autori contra lui Einstein* el a replicat „Dacă nu aș fi avut dreptate, unul era de ajuns!"

În 1933, Hitler a venit la putere. Einstein era în America și a declarat că nu se va întoarce în Germania. Atunci, în timp ce miliția nazistă îi percheziționa casa și îi confisca contul din bancă, un ziar din Berlin publica titlul: „Vești bune de la Einstein — Nu se mai întoarce." În fața amenințării naziste, Einstein a renunțat la pacifism, și, în cele din urmă, temîndu-se că oamenii de știință germani vor construi o bombă nucleară, a propus ca Statele Unite să-și construiască una. Dar chiar înainte ca prima bombă atomică să fie detonată, el a atras public atenția asupra pericolului războiului nuclear și a propus controlul internațional al armamentului nuclear.

Eforturile pentru pace făcute toată viața de Einstein au avut puține rezultate și i-au cîștigat puțini prieteni. Totuși, sprijinul său pentru cauza sionistă a fost recunoscut cum se cuvine în 1952, cînd i s-a oferit președinția Israelului. El a refuzat, spunînd că se consideră prea naiv în politică. Dar poate că motivul său real a fost diferit; îl cităm din nou: „Ecuațiile sînt mult mai importante pentru mine, deoarece politica este pentru prezent, dar o ecuație este ceva pentru eternitate."

Galileo Galilei

Galilei, poate mai mult decît oricare altă persoană, a fost răspunzător de nașterea științei moderne. Renumitul său conflict cu Biserica catolică a fost important pentru filozofia sa, deoarece Galilei a fost unul dintre primii care au susținut că omul putea spera să înțeleagă cum funcționează lumea și, în plus, că putem face acest lucru observînd lumea reală.

Galilei a crezut teoria lui Copernic (că planetele se mișcau pe orbite în jurul soarelui) mai devreme, dar el a început s-o sprijine public numai atunci cînd a găsit dovada necesară pentru a susține ideea. El a scris despre teoria lui Copernic în italiană (nu ca de obicei în latină), și curînd părerile sale au fost larg sprijinite în afara universităților. Aceasta a deranjat pe profesorii aristotelieni, care s-au unit împotriva lui căutînd să convingă Biserica catolică să interzică teoriile lui Copernic.

Galilei, îngrijorat de aceasta, s-a dus la Roma pentru a vorbi cu autoritățile ecleziastice. El a argumentat că Biblia nu intenționa să ne spună ceva despre teoriile științifice și că se obișnuia să se presupună că acolo unde Biblia intra în conflict cu bunul-simț, ea era alegorică. Dar Biserica se temea de un scandal care putea submina lupta sa contra protestantismului, și a luat măsuri represive. Ea a declarat în 1616 că teoria lui Copernic era „falsă și eronată“ și l-a condamnat pe Galilei ca niciodată să nu mai „apere sau să susțină“ doctrina. Galilei s-a supus.

În 1623, un prieten de-o viață al lui Galilei a devenit papă. Imediat Galilei a încercat să obțină revocarea

decretului din 1616. Nu a reușit, dar a obținut aprobare să scrie o carte în care să discute ambele teorii, a lui Aristotel și a lui Copernic, cu două condiții: nu trebuia să fie părtinitor și să ajungă la concluzia că omul nu poate determina cum funcționează lumea deoarece Dumnezeu ar putea produce aceleași efecte în moduri neimaginate de om, care nu poate introduce restricții asupra omnipotenței lui Dumnezeu.

Cartea *Dialog privind cele două sisteme principale ale lumii* a fost terminată și publicată în 1632, cu aprobarea totală a cenzorilor — și a fost considerată imediat în toată Europa ca o capodoperă literară și filozofică. Curînd, Papa, realizînd că oamenii căutau cartea ca un argument convingător în favoarea teoriei lui Copernic, a regretat că a permis publicarea sa. Papa a argumentat că, deși cartea avea aprobarea oficială a cenzorilor, Galilei a încălcat decretul din 1616. El l-a adus pe Galilei înaintea Inchiziției, care l-a condamnat la arest la domiciliu pe viață și l-a condamnat să renunțe public la teoria lui Copernic. Pentru a doua oară, Galilei s-a supus.

Galilei a rămas un catolic credincios, dar convingerea sa în independența științei nu s-a schimbat. Cu patru ani înainte de moartea sa în 1642, cînd era încă în stare de arest la domiciliu, manuscrisul celei de a doua cărți mari a sa a fost trecut peste graniță de către un editor din Olanda. Această lucrare, numită *Două științe noi* a reprezentat geneza fizicii moderne, chiar mai mult decît sprijinul său pentru teoria lui Copernic.

Isaac Newton

Isaac Newton nu era un om plăcut. Relațiile sale cu ceilalți academicieni erau notorii, majoritatea ultimilor ani fiind implicat în dispute încinse. În urma publicării cărții *Principia Mathematica* — în mod sigur cartea cea mai influentă care a fost scrisă în fizică — Newton s-a remarcat rapid. El a fost numit președinte al Societății Regale și a devenit primul om de știință care a fost înnobilat.

Curînd Newton a intrat în conflict cu astronomul regal John Flamsteed, care mai înainte îi furnizase date pentru *Principia* — dar care acum refuza să-i dea lui Newton informațiile pe care acesta le dorea. Newton nu accepta să fie refuzat; el s-a numit singur în corpul de conducere al Observatorului Regal și a încercat apoi să forțeze publicarea imediată a datelor. În cele din urmă el a aranjat ca lucrarea lui Flamsteed să fie luată și pregătită pentru publicare de dușmanul de moarte al lui Flamsteed — Edmond Halley. Dar Flamsteed l-a dat în judecată și în scurt timp a obținut o hotărîre care împiedica distribuirea lucrării furate. Newton s-a înfuriat și s-a răzbunat eliminînd sistematic toate referirile la Flamsteed din edițiile ulterioare ale *Principia*.

O dispută mult mai serioasă a avut-o cu filozoful german Gottfried Leibniz. Atît Leibniz cît și Newton au elaborat independent o ramură a matematicii, numită calcul infinitezimal, care stă la baza celei mai mari părți a fizicii moderne. Deși acum știm că Newton a descoperit calculul infinitezimal ani de zile înaintea

lui Leibniz, el l-a publicat mult mai tîrziu. A început o mare discuție despre cine a fost primul, fiecare avînd propriii susținători. Este remarcabil însă că majoritatea articolelor care au apărut în apărarea lui Newton erau inițial scrise de mîna sa — și publicate doar în numele prietenilor! Pe măsură ce discuția a crescut, Leibniz a făcut greșeala de a apela la Societatea Regală pentru rezolvarea disputei. Newton, ca președinte, a numit un comitet „imparțial" pentru investigații care era format întîmplător numai din prieteni ai lui Newton! Dar nu a fost numai atît: Newton a scris apoi singur raportul comitetului și a determinat Societatea Regală să-l publice, acuzîndu-l oficial pe Leibniz de plagiat. Tot nesatisfăcut, el a scris o recenzie anonimă a raportului în jurnalul Societății Regale. După moartea lui Leibniz se spune că Newton a declarat că a avut o mare satisfacție că „Leibniz și-a zdrobit inima".

În timpul acestor două dispute, Newton părăsise deja Cambridge și academia. El a dus o politică anticatolică activă la Cambridge, și apoi în Parlament, și a fost răsplătit în cele din urmă cu postul avantajos de director al Monetăriei Regale. Aici și-a folosit talentele de a ataca violent într-un mod mai acceptabil din punct de vedere social, conducînd cu succes o campanie împotriva falsurilor, chiar trimițînd cîțiva oameni la spînzurătoare.

Glosar

accelerator de particule: O mașină care, utilizînd electromagneți, poate accelera particule încărcate aflate în mișcare, dîndu-le mai multă energie.
accelerație: Rata cu care se schimbă viteza unui obiect.
antiparticulă: Fiecare tip de particulă de materie are o antiparticulă corespunzătoare. Atunci cînd o particulă se ciocnește cu antiparticula sa, ele se anihilează rămînînd numai energie.
atom: Unitatea de bază a materiei obișnuite, formată dintr-un nucleu foarte mic (care conține protoni și neutroni) înconjurată de electroni care se deplasează pe orbite în jurul său.
Big Bang: Singularitatea de la începutul universului.
Big Crunch: Singularitatea de la sfîrșitul universului.
con de lumină: O suprafață în spațiu-timp care cuprinde direcțiile posibile ale razelor de lumină care trec printr-un eveniment dat.
condiția „fără limită": Ideea că universul este finit dar nu are limită (în timpul imaginar).
conservarea energiei: Legea științei care afirmă că energia (sau masa sa echivalentă) nu poate fi creată sau distrusă.
constanta cosmologică: Un aparat matematic utilizat de Einstein pentru a da spațiu-timpului o tendință intrinsecă de expansiune.
coordonate: Numere care specifică poziția unui punct în spațiu și timp.
cosmologie: Studiul universului ca un întreg.
cuantă: Unitate indivizibilă în care undele pot fi emise sau absorbite.

cîmp: Ceva care există peste tot în spațiu și timp, în opoziție cu o particulă care există numai într-un punct la un moment dat.

cîmp magnetic: Cîmpul răspunzător pentru forțele magnetice încorporat acum, împreună cu cîmpul electric, în cîmpul electromagnetic.

deplasarea spre roșu: Modificarea spre roșu datorită efectului Doppler, a luminii provenite de la o stea care se depărtează de noi.

dimensiune spațială: Oricare dintre cele trei dimensiuni ale spațiu-timpului care se referă la spațiu — adică, oricare în afară de dimensiunea timpului.

dualism undă/particulă: Concept în mecanica cuantică în care nu se face distincție între unde și particule; particulele se pot comporta uneori ca unde și undele ca particule.

electron: O particulă cu o sarcină electrică negativă care se deplasează pe orbită în jurul nucleului unui atom.

energia de unificare electroslabă: Energia (în jur de 100 GeV) peste care diferența dintre forța electromagnetică și interacția slabă dispare.

energia marii unificări: Energia peste care, se crede, forța electromagnetică, interacția slabă și interacția tare nu pot fi diferențiate una de alta.

eveniment: Un punct în spațiu-timp, specificat de timpul și locul său.

fază: Poziția din ciclul unei unde la un moment specificat; arată dacă unda este la maxim, la minim sau la un punct intermediar.

forța electromagnetică: Forța care apare între particule cu sarcină electrică, a doua ca putere din cele patru forțe fundamentale.

foton: O cuantă de lumină.

frecvență: Pentru o undă, numărul de cicluri complete pe secundă.

fuziunea nucleară: Procesul în care două nuclee se ciocnesc și se unesc formînd un singur nucleu mai greu.

gaură neagră: O regiune a spațiu-timpului de unde nimic, nici chiar lumina nu poate ieși, deoarece gravitația este prea puternică.

gaură neagră primordială: O gaură neagră creată în universul foarte timpuriu.

geodezică: Drumul cel mai scurt (sau cel mai lung) între două puncte.

greutate: Forța exercitată asupra unui corp de cîmpul gravitațional. Ea este proporțională cu masa sa, dar nu este aceeași cu aceasta.

interacție slabă: A doua forță, în ordine crescătoare a tăriei, dintre cele patru forțe fundamentale, care are o rază de acțiune foarte scurtă. Ea afectează toate particulele de materie, dar nu afectează particulele purtătoare de forță.

interacție tare: Cea mai puternică forță dintre cele patru forțe fundamentale, care are raza de acțiune cea mai scurtă dintre toate. Ea menține quarcii împreună în protoni și neutroni și menține protonii și neutronii împreună formînd atomi.

limita Chandrasekhar: Masa maximă posibilă a unei stele reci stabile, peste care aceasta trebuie să sufere un colaps formînd o gaură neagră.

lungime de undă: Pentru o undă, distanța dintre două minime adiacente sau două maxime adiacente.

marea teorie unificată (MTU): O teorie care unifică forța electromagnetică, interacția slabă și interacția tare.

masă: Cantitatea de materie a unui corp; inerția sa sau rezistența împotriva accelerării.

mecanica cuantică: Teoria dezvoltată pe baza principiului cuantic al lui Planck și principiului de incertitudine al lui Heisenberg. (Capitolul 4.)

neutrin: O particulă elementară de materie, extrem de ușoară (posibil fără masă), care este afectată numai de interacția slabă sau de gravitație.

neutron: O particulă neîncărcată, foarte asemănătoare protonului, care reprezintă aproape jumătate din particulele din nucleul celor mai mulți atomi.

nucleu: Partea centrală a unui atom, care constă numai din protoni și neutroni, menținuți împreună de interacția tare.

orizontul evenimentului: Limita unei găuri negre.

particulă elementară: O particulă care, se crede, nu mai poate fi subdivizată.

particulă virtuală: În mecanica cuantică, o particulă care nu poate fi niciodată detectată direct, dar a cărei existență are efecte măsurabile.

pitică albă: O stea rece stabilă, susținută de repulsia dintre electroni datorată principiului de excluziune.

pozitron: Antiparticula (încărcată pozitiv) a electronului.

principiul antropic: Vedem universul așa cum este deoarece, dacă ar fi diferit, noi nu am exista să-l observăm.

principiul cuantic al lui Planck: Ideea că lumina (sau orice alte unde clasice) poate fi emisă sau absorbită numai în cuante discrete, a căror energie este proporțională cu frecvența lor.

principiul de excluziune: Două particule identice de spin 1/2 nu pot avea ambele (în limitele stabilite de principiul de incertitudine) aceeași poziție și aceeași viteză.

principiul de incertitudine: Nu se poate cunoaște niciodată exact atît poziția cît și viteza unei particule; cu cît se cunoaște una dintre ele mai precis, cu atît mai puțin precis se poate cunoaște cealaltă.

proporțional: „X este proporțional cu Y" înseamnă că atunci cînd Y se înmulțește cu un număr, X se mărește de același număr de ori. „X este invers proporțional cu Y" înseamnă că dacă Y se înmulțește cu un număr, X se micșorează de același număr de ori.

protoni: Particule încărcate pozitiv care formează aproximativ jumătate din particulele din nucleul celor mai mulți atomi.

quarc: O particulă elementară (încărcată) care simte interacția tare. Protonii și neutronii sînt fiecare formați din trei quarci.

radar: Un sistem care utilizează impulsuri de unde radio pentru a detecta poziția obiectelor măsurînd timpul necesar unui impuls să ajungă la obiect și să fie reflectat înapoi.

radiația de fond de microunde: Radiația provenită de la strălucirea universului timpuriu fierbinte, acum deplasată mult spre roșu, încît nu mai apare ca lumină, ci sub formă de microunde (unde radio cu o lungime de undă de cîțiva centimetri).

radioactivitate: Dezintegrarea spontană a unui tip de nucleu atomic în altul.

raze gamma: Unde electromagnetice cu lungime de undă foarte scurtă, produse în dezintegrarea radioactivă sau prin ciocnirea particulelor elementare.

relativitatea generalizată: Teoria lui Einstein bazată pe ideea că legile științei trebuie să fie aceleași pentru toți observatorii, indiferent cum se deplasează ei. Ea explică forța de gravitație în funcție de curbura spațiu-timpului cvadri-dimensional.

relativitatea specială: Teoria lui Einstein bazată pe ideea că legile științei trebuie să fie aceleași pentru toți observatorii care se mișcă liber, indiferent de viteza lor.

sarcină electrică: O proprietate a particulei prin care ea poate să respingă (sau să atragă) alte particule care au sarcină de același semn (sau de semn opus).

secundă-lumină (an-lumină): Distanța parcursă de lumină într-o secundă (an).

singularitate: Un punct în spațiu-timp la care curbura spațiu-timpului devine infinită.

singularitate nudă: O singularitate a spațiu-timpului care nu este înconjurată de o gaură neagră.

spațiu-timp: Spațiu-cvadri-dimensional ale căror puncte sînt evenimente.

spectru: Descompunerea, să spunem, a unei unde electromagnetice în componentele sale de frecvență.

spin: O proprietate internă a particulelor elementare, legată de, dar nu identică cu conceptul obișnuit de rotație în jurul unei axe.

stare staționară: O stare care nu se schimbă cu timpul: o sferă care se rotește cu viteză constantă este staționară deoarece ea arată identic în orice moment, chiar dacă nu este statică.

stea neutronică: O stea rece, susținută de respingerea între neutroni datorată principiului de excluziune.

teorema singularităților: O teoremă care arată că o singularitate trebuie să existe în anumite condiții — în special, că universul trebuie să înceapă cu o singularitate.

timp imaginar: Timpul măsurat utilizînd numere imaginare.

zero absolut: Temperatura cea mai joasă posibilă, la care o substanță nu conține energie termică.

Cuprins

Redactor
VLAD ZOGRAFI

Apărut 2001
BUCUREȘTI – ROMÂNIA